ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso
de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN IX JULIO 1950 NUMERO 35

René Descartes (1596-1650)

La influencia mutua de las ideas y descubrimientos de Francia y Gran Bretaña en el desenvolvimiento de la ciencia moderna es un hecho histórico. Un ejemplo notable lo tenemos, tal vez, en la síntesis de la filosofía química de Lavoisier, fundada por una parte en sus propias investigaciones, y por otra, en los experimentos de sus contemporáneos Black, Priestley y Cavendish. El año actual, en el que se conmemora el tercer centenario de la muerte de Descartes, nos recuerda en éste, no sólo a uno de los fundadores de la ciencia moderna, sino también a un hombre que admiró mucho a sus contemporáneos británicos e influyó grandemente en sus sucesores.

Las principales obras de Descartes son: *Le Discours de la Méthode* (1637), que incluye su *Géométrie*, en la que se establecen los fundamentos de la geometría analítica; *Meditationes de Prima Philosophia* (1641), y *Principia Philosophiæ* (1644).

Descartes leyó y elogió el *Novum Organum* de Bacon (1620); pero, a diferencia de éste, consideraba que la ciencia avanzaría más por deducción que por inducción, derivando tal deducción de lo reconocido como indudablemente cierto; opinión formulada en la conocida frase: *Cogito, ergo sum*, que acaso hubiera podido ser más exactamente expresada en esta forma: *Dubito, ergo sum*. Descartes — a diferencia también en esto de Bacon — se dió cuenta de la importancia de las matemáticas para el desarrollo de la ciencia; asimismo tuvo una elevada opinión de la obra *De Magnete* de Gilbert (1600), y formuló por sí mismo la primera teoría científica sobre el magnetismo. Manifestó también una gran admiración por *De Motu Cordis* de Harvey (1628).

Su fundación de la geometría analítica, sus estudios sobre el movimiento, sus trabajos sobre la refracción y el arco iris, su oposición a las explicaciones que presuponían cualidades ocultas, su tendencia a fundamentar todos los estudios físicos en la mecánica, y su afirmación de que los animales eran «máquinas» caracterizan a Descartes como un científico moderno. Sacó a la ciencia del mundo aristotélico, y su sistema sólo fué reemplazado por el de Newton.

Descartes pensaba que la materia era continua y que el mundo era un *plenum*, en oposición a los que habían empezado a revivir el atomismo griego, y sostenían que el mundo estaba compuesto de átomos y vacíos. Según su teoría de los vórtices, el curso de un planeta en su órbita estaba determinado por el movimiento en remolino de una materia que llenaba todo el espacio.

Estas dos ideas: la de una materia continua pero corpuscular, que llenaba todo el espacio, y la de un universo de vórtices fueron discutidas entre sus sucesores en Gran Bretaña. Walter Charleton, que describió a Descartes como «un ingenio transcendentalmente agudo», revela la influencia del cartesianismo en su *Physiologia* (1654), primer libro inglés sobre el atomismo, al escribir que «la opinión (sobre la visión) del excelente Monsieur Descartes, . . . con una especie de suave violencia, tiene tal sugestión para la mayor parte de los estudiantes de fisiología (*i.e.* física) de la edad presente, especialmente en lo que se refiere a la acomodación de las Máximas Mecánicas a las operaciones sensibles de la naturaleza, que su mente no puede pensar en otra cosa».

Boyle sentía un gran respecto por Descartes, a quien definió como «ingenioso» y «excelente», y como un hombre de quien él «no se atrevía a disentir». Consideraba los átomos de Demócrito y los corpúsculos de Descartes como entidades rivales, inclinándose, finalmente, a preferir los primeros. En su *Origin of Formes and Qualities* (1666), Boyle, en parte bajo la influencia de Descartes, prestó pleno apoyo a una teoría corpuscular, al explicar las propiedades de las substancias sobre una base puramente mecánica, y

las ideas expresadas en este libro fueron bien acogidas.

Hooke, que conocía bien los escritos de Descartes — de los que, según Newton, derivó su teoría del color — cita a éste varias veces en su *Micrographia* (1665); y en su *Lampas* (1677) escribe: «Ahora, aunque yo creo que la gravedad opera de distinto modo al imaginado por Des Cartes, encuentro sus hipótesis tan racionales e ingeniosas, tan por encima de las objeciones que se les han opuesto, y tan superiores a todo lo que yo conozco en el género, que no creo merezcan el dictado de *fæda deliria*, como el ilustrado Doctor (Henry More) se complace en llamarlas». More fué el «platonista de Cambridge», que llamó a la ciencia contemporánea en apoyo de la fé cristiana contra el escepticismo.

Newton, como es sabido, leyó la *Géométrie* de Descartes en 1664 e ideó su «método de derivadas» en 1665. Se ha dicho que las ideas obtenidas de la *Géométrie* le ayudaron a inventar el cálculo diferencial.

En sus *Principia*, Newton tuvo que ocuparse de la teoría de los vórtices de Descartes que, al difundirse la nueva ciencia, había sido aceptada en lugar de la concepción aristotélica del mundo; y dedicó a su refutación la mayor parte de su Libro II. En la Proposición LII mostró que, en un sistema de vórtices, los tiempos periódicos de sus diferentes partes tenían que ser como los cuadrados de sus distancias del centro, mientras que las observaciones resumidas en la tercera ley de Keplero habían demostrado que los cuadrados de los tiempos periódicos de los planetas eran como los cubos de sus distancias respecto al sol. Sin embargo, aún después de publicados los *Principia* en 1687, el cartesianismo seguió siendo mantenido en muchas partes, tal vez porque la teoría de los vórtices hacía rodar los planetas por contacto con el flúido sutil, siempre móvil, que llenaba el espacio, mientras que el sistema de Newton implicaba la incomprensible «acción a distancia».

La segunda edición de *Principia* apareció en 1713, ventiséis años después de la primera. Roger Cotes, que escribió para esta segunda edición su famoso prefacio, se mostraba todavía principalmente preocupado por refutar la teoría de los vórtices, que seguía siendo aceptada, no sólo por la dificultad antes apuntada del sistema de Newton, sino también por la popularidad de que gozaba entonces un notable libro de texto sobre física. Era el *Traité de Physique* de Jacques Rohault, fundado en el sistema de Descartes y aparecido en 1671. Se publicaron traducciones en latín, en Ginebra, en 1674, y en Londres, en 1682. Se hicieron luego muchas ediciones del libro en francés y, antes de que apareciese *Principia* de Newton en 1687, el *Traité de Physique* se había establecido en las universidades británicas como el más popular libro de texto de física. El *Traité* mantuvo más tarde su imperio aun en la Universidad de Cambridge del propio Newton, aunque el sistema newtoniano había sido enseñado en Edimburgo por David Gregory, antes de trasladarse a Oxford en 1690, y por su hermano James en St. Andrews. En Oxford, el cartesianismo era todavía la «Nueva Filosofía» (por oposición a la de Aristóteles) en 1693, en que Addison lo defendió en un discurso pronunciado en el Sheldonian Theatre. Sin embargo, cuando se estaba preparando en 1697 una nueva edición en latín del *Traité* de Rohault, por Samuel Clarke, ciertas protestas de Whiston obligaron al traductor a añadir algunas notas sobre el trabajo de Newton, que venían, en realidad, a contradecir el texto; por lo que, según dijo Playfair, «la Filosofía Newtoniana entró por primera vez en la Universidad de Cambridge bajo la protección de los cartesianos». Esta nueva traducción apareció en 1697, siendo seguida de otras ediciones.

Hasta mediados del siglo XVIII, el cartesianismo no dejó paso por completo al newtonismo. Pero, aunque el sistema cósmico de Descartes quedó rechazado, la influencia de su autor persistió en diversas direcciones, al través de los siglos XVIII y XIX. Persiste aún en nuestros días, con su fé en la existencia de un mundo material objetivo, la explicación de cuyo mecanismo era, según él, la finalidad suprema de la ciencia.

Redactor-jefe: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W. 1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a 26 Dover Street, Londres, W. 1

La partícula elemental

E. SCHRÖDINGER

Examen crítico de las teorías actuales sobre las características de las partículas y ondas como diferentes aspectos del mismo fenómeno. Trata del principio de indeterminación; de que las coordenadas y las derivadas de primer orden con respecto al tiempo (velocidad) no pueden ser conocidas ambas con exactitud; y de la consiguiente pérdida de individualidad de la partícula, mencionándose también la formulación de la ecuación ondulatoria. Ilústranse con simples ejemplos las estadísticas de Bose-Einstein y de Fermi-Dirac, y se estudia su aplicación a electrones y fotones. Se examina la condición necesaria para el predominio del aspecto particular en un fenómeno.

1. LA PARTICULA NO ES UN INDIVIDUO

La forma más reciente del atomismo se denomina mecánica quántica y ha extendido su dominio hasta comprender, no sólo la materia común, sino también toda clase de radiación, incluso la luz; en breve: toda forma de energía, de la que la materia común es sólo una variante. En la forma actual de la teoría, los *átomos* son electrones, protones, mesones, etc.; su nombre genérico es «partícula elemental», o simplemente «partícula». El término «átomo» se ha conservado acertadamente para los átomos químicos, aunque resulte ya inapropiado.

En este trabajo estudiaré la partícula elemental y, más concretamente, cierta característica que ha adquirido — perdido, por mejor decir — tal concepto en la mecánica quántica. Lo que quiero decir es: la partícula elemental no es un individuo, no puede ser identificada, le falta «identidad». Todo físico conoce este fenómeno, pero apenas se le da importancia en los trabajos destinados a los no especialistas. En lenguaje técnico lo expresamos diciendo que las partículas obedecen a supuestas leyes estadísticas nuevas, bien sean las de Einstein-Bose o las de Fermi-Dirac. La consecuencia — nada evidente — es que el inocente adjetivo «este» no puede aplicarse propiamente a un electrón, por ejemplo, excepto con cierta cautela y en sentido muy limitado, siendo a veces totalmente imposible. Mi propósito es aclarar este punto y dedicarle la atención que se merece. Permítaseme ante todo, a fin de facilitar nuestro estudio, presentar en las secciones 2–5 un resumen de la presente teoría de la nueva física acerca de las partículas y las ondas.

2. TEORIAS ACTUALES: LA FUSION DE PARTICULAS Y ONDAS

La imagen que del mundo material formamos se basa en dos clases de *realidades*: ondas y partículas. Las primeras quedaron ejemplarizadas principal, si bien no exclusivamente, por las ondas de energía electromagnética de Maxwell, las cuales comprenden las hertzianas, luminosas, rayos X, y rayos gamma. Pero se aseguraba que los cuerpos materiales se componen de partículas; también se aceptaban los «chorros» de partículas, llamados rayos corpusculares, tales como los catódicos, beta, alfa, anódicos, etc. Las partículas emitían y absorbían ondas; por ejemplo: los rayos catódicos (electrones) emiten rayos X al retardarse por colisión con los átomos. Sin embargo, se consideraba que la distinción entre partículas y ondas era tan clara como la que existe entre un violín y el sonido que emite. Mal lo hubiera pasado el estudiante que afirmase que los rayos catódicos eran ondas, o los rayos X surtidores de partículas.

Esta distinción ha desaparecido, según las nuevas doctrinas, al descubrirse que todas las partículas tienen propiedades de ondas, y viceversa. No debe abandonarse ninguno de dichos conceptos, sino fundirse ambos, y el aspecto que en un determinado caso predomine dependerá no del objeto físico mismo sino del método experimental con que se examine. Por ejemplo: un haz de rayos catódicos produce en una cámara de Wilson ténues huellas rectilíneas (a menos que exista un campo magnético que desvíe los electrones, en cuyo caso serán curvadas) que no podemos menos de interpretar como huellas del paso de electrones independientes; pero el mismo haz producirá, luego de haber cruzado un tubo en ángulo normal a su eje que contenga un cristal pulverizado, sobre una placa fotográfica colocada a cierta distancia detrás del tubo, una pauta de círculos concéntricos que sólo puede interpretarse en todos sus detalles como una pauta de interferencia ondulatoria, presentando, de hecho, una estrecha

semejanza con las pautas que, en idénticas condiciones, producen los rayos X.

Se plantea la duda de si los haces cónicos que inciden en la placa formando las pautas circulares serán realmente rayos catódicos o rayos X secundarios, pero esta duda queda sin fundamento cuando comprobamos que todo el sistema de círculos puede desviarse con un imán, lo que no sucede con los rayos X; además, si en lugar de la placa fotográfica colocamos una pantalla de plomo con un orificio, podemos aislar un haz simple de cualquiera de los haces cónicos, el cual ofrecerá todas las características típicas de las partículas de rayos catódicos: huellas ténues en una cámara de Wilson, descargas discretas en los contadores de Geiger-Müller, y carga de una jaula de Faraday con que se le intercepte.

Existe un gran número de pruebas experimentales que fundamentan la convicción de que las características ondulatorias y las propias de una partícula no se dan nunca separadamente, sino en conjunción; forman aspectos diferentes de un mismo fenómeno y, en verdad, de todos los fenómenos físicos. Tal conjunción no es ni imprecisa ni superficial, y sería erróneo pensar que los rayos catódicos consisten de una mezcla de partículas y ondas. En los orígenes de la nueva teoría se sugirió que las partículas podían ser puntos determinados de la onda, verdaderas singularidades en sentido matemático, como las crestas blancas de un mar picado. Pero muy pronto se abandonó dicha idea, y parece hoy que han de modificarse dichos conceptos — partícula y onda — antes de que se pueda conseguir una verdadera fusión.

3. TEORIAS ACTUALES: NATURALEZA DE LAS ONDAS

Se nos afirma que las ondas no deben considerarse como verdaderamente tales. Es cierto que producen franjas de interferencia, que fué la prueba conclusiva que, en el caso de la luz, resolvió todas las dudas sobre la *realidad* de las ondas; sin embargo, ahora se añade que debemos considerar a todas ellas, incluso las luminosas, como *ondas de probabilidad*; son únicamente un artificio matemático para computar la probabilidad de hallar una partícula en ciertas condiciones dadas; por ejemplo (en el caso anterior): la probabilidad de que un electrón incida sobre una reducida y determinada área de la placa fotográfica, donde queda registrado sobre un grano de la emulsión. La pauta de interferencia se interpreta entonces como el registro estadístico de los electrones incidentes, y, en este sentido, se llama a veces a la onda «onda-piloto», ya que guía o dirige la ruta de la partícula. Esta acción de guiar no debe considerarse como algo rígido; solamente constituye una probabilidad. La pauta definida es un resultado estadístico que debe su definición al enorme número de partículas.

No podemos por menos de mencionar aquí una objeción tan evidente que no dejará de ocurrírsele al lector. Si *algo* influye sobre el comportamiento físico de otro *algo*, de ningún modo podremos decir que el primer *algo* es menos real que el segundo, cualquiera que sea el significado que demos al epíteto «real». Es conveniente recordar a veces que todos los modelos cuantitativos de imágenes concebidas por un físico sólo son, epistemológicamente, artificios matemáticos para computar los fenómenos observables, pero no veo la razón para afirmar que ello sea más aplicable en el caso de las ondas luminosas, por ejemplo, que en el de las moléculas de oxígeno.

4. TEORIAS ACTUALES: NATURALEZA DE LAS PARTICULAS (RELACION DE INDETERMINACION)

Por lo que se refiere a la necesaria modificación en el concepto de partícula, hoy se insiste especialmente en el principio de indeterminación de Heisenberg. La llamada mecánica clásica se centraba en el descubrimiento de Galileo y Newton de que, al relacionar un cuerpo móvil con los demás cuerpos lo que realmente se determina en un instante dado es sóla y precisamente su aceleración o, en términos matemáticos, las segundas derivadas de las coordenadas con respecto al tiempo. Las primeras derivadas, llamadas comunmente la velocidad, se deben incluir por tanto en la descripción del estado momentáneo del cuerpo, junto con las coordenadas mismas que establecen su situación en el espacio, o *ubietas*. Así, para describir el estado momentáneo de una partícula se requieren dos datos independientes: sus coordenadas y las derivadas con respecto a t, o sea su ubiedad y velocidad. Según la nueva teoría ni se necesita tanto ni se obtiene tanto; puede darse cualquiera de ambos datos con exactitud arbitraria siempre que no se ponga gran confianza en el otro; pero ambos no pueden conocerse simultáneamente con absoluta precisión, ya que se hacen mútuamente confusos. En términos generales, el producto del margen de sus respectivas inexactitudes no puede reducirse por debajo de una constante, que en el caso del electrón resulta ser 1 si usamos como unidades centímetros y segundos. Así, si consideramos la velocidad de un electrón con un

margen de error de sólo 1 cm/s, su localización admitirá asimismo un error de 1 cm. Lo extraño no está en la mera existencia de inexactitudes, ya que la partícula pudiera poseer una extensión vaga y cambiante, dentro de la cual predominasen velocidades ligeramente distintas en puntos diferentes; sin embargo, en dicho caso, una ubiedad exacta significaría probablemente una velocidad exactamente definida, y viceversa; y lo que sucede en la realidad es lo opuesto.

5. TEORIAS ACTUALES: SIGNIFICADO DE LA RELACION DE INDETERMINACION

Dos eslabones encadenan esta afirmación — extraña y fundamental — a otras secciones de la teoría. Podemos llegar a ella afirmando que una partícula es equivalente a su onda-piloto y que no tiene otras características sino las indicadas por la onda-piloto según una cierta clave. La ubiedad está indicada por la extensión de la onda, el margen de error en la velocidad por la escala de los números de onda. «Número de onda» es una abreviación de (longitud de onda)$^{-1}$. Cada número de onda corresponde a una cierta velocidad que le es proporcional: ésta es la clave. Matemáticamente es obvio que cuanto menor sea un grupo de ondas más amplia será la extensión (mínima) de sus números de onda.

Alternativamente, podemos escrutinizar el procedimiento experimental determinando la ubiedad o la velocidad. Cualquier artificio de medición semejante implica una transferencia de energía entre la partícula y un instrumento medidor; en último término, el experimentador mismo que tiene que leer su instrumento. Dicha transferencia significa que el experimentador perturba la partícula. Dicha alteración no puede reducirse arbitrariamente puesto que la energía no se transmite continuadamente sino en porciones. Es de comprender, por tanto, que cuando medimos una de ambas magnitudes, la ubiedad o la velocidad, perturbamos la otra tanto más profundamente cuanta mayor precisión queramos obtener; esto es: obscurecemos su valor con un margen de error proporcional al margen que permitimos en la otra.

Las palabras de ambas explicaciones parecen sugerir que la indeterminación, o ausencia de precisión, se refiere al conocimiento que podemos adquirir sobre una partícula más bien que a la naturaleza de la misma. Y, en verdad, cuando decimos que perturbamos o cambiamos una magnitud física mensurable, implicamos lógicamente que ésta posee cierto valor antes y después de nuestra interferencia, conozcámoslos o no. Y en la primera explicación, que contiene la onda, si llamamos a ésta «onda-piloto», ¿cómo podrá pilotar a una partícula por su camino si la partícula no tiene camino? Si decimos que la onda indica la probabilidad de hallar a la partícula en A, B, o C . . ., ello parece implicar que la partícula se encuentra realmente en uno, y sólo en uno, de dichos lugares; y del mismo modo en cuanto a la velocidad. (Realmente, «onda» significa simultáneamente ambas probabilidades, una por su extensión y otra por los números de onda.) Sin embargo, la doctrina actual no admite ni la ubiedad ni la velocidad como realidades objetivas permanentes, sino que acentúa el término «hallar». *Hallar* la partícula en el punto A no significa que ya «estaba» allí antes. Se nos da a entender, más o menos, que nuestro sistema de mensuración la ha llevado allí, o la ha «concentrado» en dicho punto, mientras que, al mismo tiempo, hemos perturbado su velocidad. Lo cual no significa que la velocidad «tenía» un valor, sino que lo que hemos perturbado o cambiado es la probabilidad de hallar tal o cual valor, si lo medimos. El significado de «estar» y de «tener» se halla viciado por un defecto de lenguaje. Y se pone en juego a la filosofía positivista para recordarnos que no debemos distinguir entre el conocimiento que podemos derivar de un objeto físico y su estado real: ambos son la misma cosa.

6. CRITICA DE LA RELACION DE INDETERMINACION

No quiero discutir ahora dicho principio filosófico. Estoy plenamente conforme con que la relación de indeterminación no tiene relación alguna con el conocimiento incompleto; lo que hace es reducir, en comparación con las ideas admitidas anteriormente, la información que podemos obtener respecto de una partícula. La conclusión es que dichas ideas eran erróneas y debemos abandonarlas. No debemos pensar que la más completa descripción de los fenómenos del mundo físico exigida por ellas es concebible pero inobtenible en la práctica; ello sería continuar atados a las doctrinas antiguas. Pero de esto no se sigue que debamos dejar de pensar y hablar en términos de lo que realmente sucede en el mundo físico, el cual, según un hábito muy conveniente, nos lo representamos como una realidad; tal hacemos en la vida ordinaria y tal hicieron los filósofos que a ello se oponían teoréticamente, como Berkeley; porque la controversia teorética se produce en un plano distinto, con el que la física no tiene relación ninguna. La física comienza con nuestra experiencia

diaria, extendiéndola por medios más sutiles; permanece unida a ella sin transcenderla genéricamente, pues no puede entrar en otro reino. Los descubrimientos de la física no tienen en sí mismos — tal es mi doctrina — autoridad para forzarnos a abandonar este hábito de imaginarnos el mundo como una realidad.

Creo yo que la situación es como sigue. De la teoría anterior hemos tomado la idea de partícula y todo el lenguaje técnico que a ella se refiere. Dicha idea es inadecuada y constantemente urge a nuestra mente a demandar cierta información que, a todas luces, no tiene sentido. La estructura imaginaria muestra características que son ajenas a la partícula real; una imagen adecuada no debe perturbarnos con demandas inquietantes y debe ser incapaz de contener más de lo que realmente existe, debe resistir toda adición foránea. La mayoría piensa que no puede existir tal imagen. Alguien podría indicar, lo que es verdad, que todas las pruebas circunstanciales (que siento mucho decir no quedan alteradas por este ensayo) demuestran que, en realidad, no se ha hallado ninguna; pero yo puedo señalar ciertas razones para ello, aparte de la real complejidad del caso. El paliativo, tomado de la filosofía positivista, y que parece ser una solución razonable, fué ya administrado relativamente temprano, y con gran autoridad. Parecía librarnos de la búsqueda de lo que yo llamaría auténtica comprensión, y aun hacía sospechoso tal esfuerzo, puesto que revelaba una mente afilosófica; la mente de un niño que llora la pérdida de un juguete favorito — imagen o modelo — y no quiere aceptar su permanente desaparición. Como segunda razón propongo que la dificultad puede estar relacionada íntimamente con el tema principal de este trabajo, al cual vuelvo ahora sin pérdida de tiempo. La relación de indeterminación se refiere a la partícula, y ésta, como hemos visto, no es una identidad. Es muy posible que sea inconcebible una entidad individual que responda a los datos necesarios de la imagen adecuada más arriba indicados.

No es nada fácil aprehender esta ausencia de individualidad y hallar términos en que expresarla. Es síntoma de ello el que la representación probabilicionista, a menos que se exprese en el lenguaje técnico-matemático más abstruso, no parece decidirse sobre si la información suministrada por la onda se refiere a *una* o a un *conjunto* de partículas; no siempre queda claro si indica la probabilidad de hallar *la* partícula, o *una* partícula, o simplemente un número medio de partículas en un volumen dado. Además, la idea más general sobre la probabilidad tiende a hacer desaparecer dichas diferencias. Es cierto que existen artificios matemáticos para distinguirlas, pero aquí surge un punto de interés general que quiero estudiar. Ya en 1926 indiqué un método para tratar el problema de las partículas múltiples; en él se usan ondas en un espacio multi-dimensional, con un múltiplo de $3\mathcal{N}$ dimensiones, siendo $\mathcal{N}$ el número de partículas. Una reflexion más profundizada condujo a la mejora del método, y el paso que nos lleva a dicha mejora es de tremenda significación. El tratamiento multi-dimensional ha sido sustituído por la llamada segunda quantización, que es matemáticamente equivalente a unir en una formulación tri-dimensional los casos $\mathcal{N} = 0, 1, 2, 3 \ldots \infty$ del tratamiento multidimensional. Este ingenioso artificio incluye la llamada estadística nueva, de la que trataremos más adelante en términos más simples. Es la única formulación precisa de las teorías actuales y la única que se usa siempre. Lo que es tan significativo en el presente contexto es que, como es inevitable dejar indeterminado el número de partículas estudiadas, es evidente que éstas no son individualidades.

7. LA NOCION DE UN FRAGMENTO DE MATERIA

Quiero presentar una doctrina de la materia y del universo material a la que han llegado Ernst Mach [1], Bertrand Russell [2], y otros mediante un cuidadoso análisis de los conceptos, y que difiere de la doctrina general. No nos interesa aquí, sin embargo, el origen psicológico del concepto de materia, sino su análisis epistemológico. La actitud es tan simple que apenas puede pretender completa novedad; algunos pre-socráticos, incluso el materialista Demócrito [3], se hallaban más cercanos a ella que los grandes sabios que desde el siglo XVII al XIX resucitaron y dieron forma a la ciencia.

Según dicha doctrina, un fragmento de materia es el nombre que damos a una serie continua de fenómenos que se siguen unos a otros en el tiempo de tal modo que los inmediatamente sucesivos son, por lo general, marcadamente similares. Un suceso único es un complejo inextricable de sensaciones, de asociaciones mémnicas de imágenes, y de expectaciones asociadas con vivencias anteriores. En el caso de un objeto desconocido prevalecen las sensaciones, como por ejemplo si observamos en un camino algo blanco que puede ser una piedra, nieve, sal, un perro o un gato, una camisa, una blusa o un pañuelo. Aun así, dentro

de la secuencia de sucesos, la experiencia nos enseña a descartar los cambios producidos por las mociones de nuestro propio cuerpo, y, en especial, de nuestra dirección visual. Tan pronto como reconocemos el objeto empiezan a predominar las imágenes y expectaciones; éstas se refieren a sensaciones de dureza, blandura, pesantez, flexibilidad, aspereza, frialdad, suavidad, sabor, etc. asociadas con las imágenes del tacto del objeto; también incluyen movimientos espontáneos, o ruidos tales como ladridos, maullidos, gritos, etc. Es de notar que no me refiero a nuestros pensamientos o consideraciones acerca del objeto, sino a todo lo que forma parte de nuestra percepción del mismo, de lo que para nosotros es. Sin embargo, la divisoria no está muy definida. Al irnos familiarizando con el fragmento de materia — y en particular al abordar su aspecto científico — aumenta la proporción de nuestras expectaciones con relación a la misma hasta incluir finalmente toda la información obtenida por la ciencia: p. de fusión, solubilidad, electro-conductividad, densidad, estructura química y cristalográfica, etc.; y disminuye al mismo tiempo el núcleo sensorial al írsenos haciendo familiar el objeto, bien mediante el conocimiento científico o por el uso cotidiano.

8. INDIVIDUALIDAD O «MISMIDAD»

Luego que una cierta riqueza de asociaciones ha llegado a relegar el núcleo sensorial, éste ya no es necesario para mantener el complejo, que persiste aunque cese temporalmente el contacto de los sentidos con el objeto. Más aún: el complejo persiste en latencia aunque interrumpamos la observación de la cadena de sucesos al desentendernos del objeto, ocuparnos de otros, y terminar olvidándolo. Lo cual no es una excepción, sino la regla que — puesto que tenemos que dormir — no tiene excepción. Pero hemos desarrollado el útil procedimiento de llenar esos vacíos, suplementando las cadenas referentes a fragmentos de materia en nuestra circunstancia — estricta o amplia — y cubriendo los períodos durante los cuales ni vigilamos el objeto ni pensamos en él; asi cuando vuelve a presentarse ante nuestros ojos lo reconocemos como la continuación de sus previas presencias, como *siendo la misma cosa*. La relativa permanencia de fragmentos individuales de materia es la característica más importante de la experiencia cotidiana y científica. Si desaparece de nuestra habitación algo muy conocido, como un jarrón de porcelana, tenemos la seguridad de que alguien se lo ha llevado; si reaparece al cabo de algún tiempo podremos quizás dudar de que sea verdaderamente el mismo (ya que la persona que se lo llevó pudo haberlo reemplazado por otro igual). Acaso no podamos resolver dicha duda, pero de lo que no podremos dudar nunca es de la dudada *mismidad*, de que tiene que haber una respuesta definitiva a nuestra pregunta «¿ es o no es el mismo ?». Tal es la firmeza de nuestra fé en la continuación de los eslabones inobservados de la cadena de sucesos.

Evidentemente, la noción de mismidad de los fragmentos materiales data de tiempo inmemorial; yo estimo que los animales deben también tenerla, lo que se prueba claramente cuando un perro busca una pelota escondida. La ciencia ha aceptado dicha noción como cosa natural, refinándola para poder aplicarla con cierta seguridad a todos los casos de aparente desaparición de la materia. La idea de que un leño ardiendo se convierte primero en fuego, y luego en humo y cenizas existe ya en la mente primitiva; la ciencia ha venido a confirmarla diciendo que aunque se produzca una alteración de volumen, los constituyentes últimos de la materia permanecen inalterados. Tal era la doctrina de Demócrito (a pesar de cierto pesimismo ocasional arriba mencionado), y ni él ni Dalton dudaron que el mismo átomo que se hallaba presente en el leño también lo estaba en las cenizas o en el humo.

9. INFLUENCIA SOBRE EL ATOMISMO

Pero tal doctrina hubo de ser abandonada en la nueva dirección que toma el atomismo con los trabajos de Heisenberg y De Broglie en 1925. Ello es la más asombrosa revelación que resulta del posterior desarrollo, y la característica que, a la larga, ha de tener consecuencias más importantes, ya que si queremos conservar el atomismo tenemos que negar, forzados por los hechos, que los constituyentes de la materia tengan carácter de individualidades identificables. Hasta hace poco todos los atomistas, que yo sepa, habían transferido la característica de identibilidad de los fragmentos palpables y visibles de materia a los átomos, que no podían ser vistos, palpados u observados individualmente. Ahora ya podemos observar las partículas individuales; ahora ya podemos ver sus huellas en la cámara de Wilson y en emulsiones fotográficas, y podemos registrar las descargas, prácticamente simultáneas, de una rápida partícula individual al pasar por dos o tres contadores de Geiger colocados a una distancia entre sí de varios metros. Y sin embargo, tenemos que negar a la partícula la dignidad de ser un

individuo identificable. Si anteriormente se hubiese preguntado a un físico de qué estaban hechos los átomos mismos, quizás se hubiera sonreído y cambiado la conversación; si el inquiridor insistiese sobre la cuestión de si era razonable imaginarse a los átomos como inintercambiables trocitos de materia, el físico, sonriendo aún, contestaría que la hipótesis era inofensiva, aunque no le veía objeto alguno. Ahora tal pregunta, antes inane, adquiere plena significación; la respuesta es negativa. El átomo queda, pues, desposeído de la más fundamental propiedad que en la vida cotidiana asociamos a un fragmento de materia: su mismidad. Algunos viejos filósofos dirían, si se les pudiese plantear la cuestion, que carece de substancia y es sólo pura forma.

10. SIGNIFICADO DE LA NUEVA ESTADISTICA

Voy, por último, a dar las razones de dicho cambio de actitud en forma más comprensible que la indicada al final de la sección 6, basándome en las llamadas estadísticas nuevas. Existen dos: la de Bose-Einstein, cuya novedad e importancia fué Einstein el primero en señalar; y la de Fermi-Dirac, cuya expresión más fecunda es el principio de exclusión de Pauli. Intentaré explicar las nuevas estadísticas y su relación con la estadística clásica, o de Boltzmann, para quienes nada saben de tales cosas y se hallen quizás un tanto desorientados sobre la significación de «estadística» en este contexto. Voy a usar un ejemplo de la vida cotidiana que quizás parezca infantil y simple, especialmente ya que tenemos que elegir números bajos — 2 y 3 — para hacer concebibles las relaciones aritméticas. Aparte de esto, la ilustración es totalmente exacta y refleja la situación real. Tres colegiales, Tom, Dick, y Harry, se merecen un premio, pero el maestro sólo tiene dos para darles. Antes de hacerlo quiere conocer cuántas distribuciones possibles hay: ésta es la única cuestión que investigamos, sin interesarnos cuál sea su decisión final. Se trata, pues, de una cuestión estadística: contar el número de distribuciones posibles. Pero el caso es que la solución depende de la naturaleza de los premios. Tres diferentes clases de premios ilustrarán las tres clases de estadísticas.

(*a*) Los premios son dos medallas conmemorativas con la efigie de Newton y Shakespeare respectivamente. El maestro puede dar Newton a T., a D. o a H., y Shakespeare a T., a D. o a H. $3 \times 3 = 9$; hay pues *nueve* distribuciones distintas (estadística clásica).

(*b*) Los premios son dos monedas idénticas de un chelín cada una (que para nuestro propósito consideramos indivisibles) que el maestro puede dar a dos de los muchachos, quedando sin nada el tercero, o bien puede dar dos a uno de ellos y dejar sin premio a los demás. Total: *seis* distribuciones distintas (estadística de Bose-Einstein).

(*c*) Los premios son dos plazas vacantes en el *team* de fútbol. El maestro las da a dos de los muchachos y se queda sin jugar el tercero. *Tres* distribuciones distintas (estadística de Fermi-Dirac).

Los premios representan las partículas: dos de la misma clase en cada caso; los muchachos, los estados que puede asumir la partícula. Así, «Newton es para D.» significa: la partícula N asume el estado D.

Nótese que la forma de contar es natural, lógica e indisputable en cada caso, y que está determinada exclusivamente por la naturaleza de los objetos, que pertenecen a categorías distintas: las medallas son individualidades distinguibles entre sí; las monedas, para nuestro propósito no lo son, pero pueden ser ambas poseídas por la misma persona (es muy distinto tener una que tener dos, cambiando la situación si uno de los muchachos cede su chelín a otro, pero no si dos de ellos intercambian sus chelines); las plazas en el equipo pueden ocuparse o no, pero no puede una persona ocupar dos a la vez, su posesión debe ser siempre singular.

Los experimentos han probado que el cálculo estadístico de las partículas elementales no debe seguir nunca la pauta de (*a*), sino la de (*b*) o (*c*); algunos afirman que para las partículas verdaderamente elementales la adecuada es (*c*). Tales partículas corresponden al concepto de «título de socio» de un club, por oposición al *socio* mismo que llena dicha posición. Toda persona elegible representa un estado bien definido que puede asumir un electrón, y si una persona es un titular, ello significa que existe un electrón en ese estado particular. Según el principio de exclusión de Pauli no puede haber nunca más de un electrón en un estado dado: nuestro símil lo representa al decir que la doble titularidad no tiene sentido. Con el transcurso del tiempo cambia la lista de titulares, y una titularidad determinada puede recaer sobre otras personas — los electrones han cambiado de estado. La posibilidad de decir, de una manera imprecisa, que cierta titularidad ha pasado de D a T y de T a H, etc., depende de las circunstancias que pueden sugerir, quizás sí o

quizás no, dicho cambio; pero nunca de una manera absoluta. En esto nuestro símil es perfecto, porque lo mismo sucede con un electrón. Es además apropiado considerar como fluctuante el número de titulares, ya que los electrones también pueden ser creados y aniquilados.

El ejemplo puede parecer extraño e invertido, y muy bien pudiera preguntárseme: «¿ no sería más natural considerar a las personas como electrones y que la titularidad fuese sus estados ?» El físico lo siente mucho, pero no puede complacernos. Y éste es el punto sobresaliente: que el verdadero comportamiento estadístico de los electrones no puede ilustrarse por medio de ningún símil que los represente como entes identificables. De dicho comportamiento se sigue, pues, que no son entes identificables.

El caso (*b*), ejemplo de la estadística de Einstein-Bose, es apropiado para los *quanta* lumínicos (fotones), entre otros. Apenas necesita discusión, y no se nos aparece tan extraño por la simple razón de que incluye la luz, esto es: energía electromagnética; y la energía, en la era pre-quántica, siempre se suponía muy semejante a los premios de nuestro ejemplo: una magnitud sin individualidad.

11. LA NOCION RESTRINGIDA DE IDENTIDAD

La cuestión más delicada es la de los estados de un electrón, por ejemplo. No pueden definirse, como es natural, según doctrinas clásicas sino a la luz de la relación de indeterminación. El riguroso tratamiento a que me he referido al final de la sección 6 no se basa realmente en la noción de «estado de un electrón» sino en la de «estado del conjunto de electrones». La lista toda de titulares del club tiene que ser considerada en su conjunto; o mejor dicho, diversas listas que corresponden a las diversas clases de partículas que componen el sistema físico estudiado. Sólo menciono esto, sin entrar en detalles, porque el símil del club tiene dos fallas. Primera: los posibles estados de un electrón (que hemos comparado a las personas elegibles para la titularidad) no están absolutamente definidos; dependen de la disposición — real o imaginada — del experimento. Dada dicha disposición, los estados quedan bien definidos individualmente, mientras que los electrones no lo están. Segunda: se puede decir que los estados forman una bien ordenada multiplicidad en el sentido de que podemos referirnos a estados próximos por oposición a otros remotos. Además, me parece cierta la afirmación de que dicho orden puede concebirse de tal manera que cuando un estado deja de ser ocupado, el vecino pasa a serlo.

Esto explica que se puedan producir, en circunstancias favorables, largas cadenas de estados ocupados sucesivamente, semejantes a los imaginados en las secciones 7 y 8. Tales cadenas nos producen la impresión de la existencia de un individuo identificable, justo como en el caso de un objeto cotidiano. En este sentido se deben interpretar las huellas de la cámara de Wilson o en una emulsión fotográfica y en las descargas simultáneas (prácticamente) de los contadores de Geiger alineados, al decir que están causadas por la *misma* partícula. Sería muy inconveniente en esos casos abandonar tal terminología, y no existe, en verdad, motivo para ello si tenemos siempre presente que, sobre una sólida base experimental, la *mismidad* de una partícula no es un concepto absoluto. Tiene sólo un significado restringido, y a veces no significa nada.

Las circunstancias en que se manifiesta esta restringida mismidad son obvias: cuando sólo se hallan ocupados muy pocos estados en la región que estemos estudiando dentro de la multiplicidad de estados, o, en otras palabras, cuando no es grande la densidad de estados ocupados en esa región, o cuando la ocupación es un suceso raro (los términos «raro», «densidad», y «pocos» van referidos a la multiplicidad de estados). De otro modo, las cadenas se entrecruzan inextricablemente revelando la verdadera situación. En la última sección formularé la condición cuantitativa para el mantenimiento de la individualidad restringida. Preguntémonos ahora qué sucede cuando queda destruída.

12. LA DENSIFICACION Y EL ASPECTO ONDULATORIO

Nos formamos la impresión de que según la densificación va borrando la individualidad de las partículas, el aspecto *particular* se va haciendo menos conveniente y tiene que ser sustituído por el *ondular*. Por ejemplo, la densidad es extrema en la envoltura electrónica de un átomo o molécula, hallándose ocupados por electrones casi todos los estados de una cierta región; lo mismo puede decirse de los electrones libres dentro de un metal. En ambos casos el aspecto particular se hace enteramente inadecuado. Por otra parte, las moléculas de un gas ordinario son muy raras en la extensa región de estados en que se hallan diseminadas, ocupando sólo uno en 10 000. Y, en verdad, la teoría de los gases basada en este aspecto particular pudo alcanzar gran perfección antes de que

se descubriese la naturaleza ondulatoria de la materia ordinaria. Hablo aquí de las moléculas como si fuesen partículas últimas, lo cual es legítimo si pensamos sólo en su moción translatoria.

Es tentador atribuir a ambos aspectos — el particular y el ondulatorio — plena competencia en los casos limítrofes de extrema «rarefacción» y «densidad» respectivamente, separándoles y siendo sólo necesaria una cierta transición para la región intermedia. No es enteramente errónea la idea, pero está muy lejos de ser correcta. Recordemos las pautas de interferencia mencionadas en la sección 2 como prueba de la naturaleza ondulatoria del electrón; pueden obtenerse con un escaso haz de rayos catódicos siempre que la exposición sea prolongada, produciéndose así un fenómeno ondular típico sin necesidad de densificación. Otro caso: toda investigación teorética competente de la colisión de dos partículas — de la misma o de distinta clase — tiene que tener en cuenta su naturaleza ondulatoria. Los resultados se aplican debidamente a las colisiones atmosféricas de rayos cósmicos y núcleos atómicos, hallándose ambos extremadamente rarificados, en todos los sentidos de la palabra. Pero quizás esto sea trivial; sólo significa que aun una partícula aislada, que nos produce la impresión de transitoria individualidad, no debe ser comparada a la *partícula* clásica, puesto que permanece sometida a la relación de indeterminación de la cual es la onda-piloto la única imagen tolerable.

13. CONDICION PARA EL ASPECTO DE PARTICULA

La condición cuantitativa para el desarrollo de cadenas que simulen la presencia de un individuo y justifiquen el aspecto particular es: el producto de la cantidad de movimiento p y de la distancia media entre partículas l debe ser bastante elevado en comparación con la constante de Planck h, de modo que $pl >> h$.

(La cantidad de movimiento p — y no la velocidad — es a lo que debiéramos habernos referido cuando tratamos de la relación de indeterminación en las secciones 4 y 5; p es simplemente el producto de la masa y la velocidad, a menos que ésta sea comparable a la de la luz.)

Un l elevado significa una baja densidad en el espacio ordinario. Lo que importa, sin embargo, es la densidad en la multiplicidad de estados, o espacio-fase, según el término técnico. Esta es la razón para la introducción de la cantidad p. Es interesante recordar que las cadenas evidentes — las huellas visibles en la cámara de Wilson y las descargas simultáneas en contadores alineados — están todas producidas por partículas con una cantidad de movimiento relativamente elevada.

La relación indicada es ya conocida por la teoría de los gases, donde expresa la condición ineludible a fin de que la vieja teoría clásica de los gases se cumpla con muy grande aproximación. Esta teoría tiene que ser modificada según la teoría quántica cuando la temperatura es muy baja y la densidad es, simultáneamente, muy elevada, de modo que el producto pl no es muy grande en comparación con h. Esta modificación se denomina la «teoría de los gases degenerados», y su aplicación más famosa es la de A. Sommerfeld a los electrones en el interior de un metal que, como ya hemos indicado, presentan una extraordinaria densificación.

Existe una conexión entre nuestra relación y la de indeterminación: la última nos permite distinguir una partícula entre sus vecinas, localizándola con un error considerablemente menor que la distancia media l, pero ello implica una incertidumbre en p, y por consiguiente, al moverse la partícula crece la indeterminación de su locación. Si exigimos que ésta permanezca muy por debajo de l después de haber cubierto la partícula la distancia l, llegamos precisamente a la relación arriba indicada.

Pero debo señalar un posible error de interpretación de mis palabras, que consistiría en pensar que la densificación sólo nos impide registrar la identidad de una partícula de modo tal que la confundimos con otra. Lo importante es que las partículas no son individualidades que puedan confundirse con otras. Tales afirmaciones no tienen significado ninguno.

BIBLIOGRAFIA

[1] MACH, ERNST. «Erkenntnis und Irrtum». J. A. Barth, Leipzig. 1905.

[2] RUSSELL, BERTRAND. «Human Knowledge, Its Scope and Limits». Allen and Unwin, Londres. 1948.

[3] DIELS, HERMANN. «Die Fragmente der Vorsokratiker». Weidmannsche Buchhandlung, Berlín. 1903. (La cita se refiere principalmente al fragmento 125 de Demócrito.)

Thomas Wright

F. A. PANETH

Reseña de los trabajos más importantes de Thomas Wright, que reproduce algunos grabados suyos en los que se manifiesta la concepción que de las estrellas como centros de sistemas solares y de la moción propia de las estrellas fijas tenía dicho autor. Su teoría sobre la forma de la Galaxia inspiró a Kant en su formulación de una teoría del universo. Breve resumen de la vida de Wright, con una lista comentada de sus obras y una bibliografía de las obras de referencia más importantes.

Hace doscientos años, en 1750, se publicó en Londres la *Original Theory or New Hypothesis of the Universe*, de Thomas Wright. Impresa a base de suscripciones, principalmente entre la alta sociedad, la obra no interesó a ningún astrónomo inglés.

En 1837 preparó en los Estados Unidos una nueva edición el conocido naturalista C. S. Rafinesque, quien escribía en el «Prefacio del editor americano»: «Solamente abandono ha hallado nuestro ilustre autor entre sus ciegos compatriotas. No le vemos citado en parte alguna; y siendo como es un filósofo y astrónomo igual a Platón, Copérnico, Newton y Herschel, casi desconocido hasta que descubrimos sus trabajos, nos hemos determinado a darle nueva vida y fama».

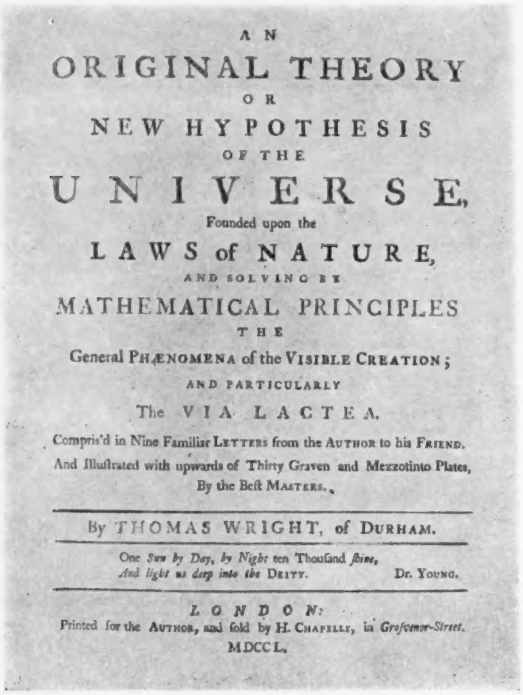
Rafinesque tenía razón: Inglaterra había olvidado totalmente a Thomas Wright; pero erraba al esperar que sus propios esfuerzos habían de hacerle famoso. En realidad, su humilde panfleto publicado en Filadelfia, sin planchas, es aún más raro que el grandioso volumen de Wright, por lo menos en Inglaterra, donde al parecer la única copia existente está en el Museo Británico. Rafinesque se excedía asimismo en su entusiasmo al elevar a Thomas Wright al nivel de los más grandes nombres de la astronomía; y desconocía también que, mucho antes ya, ciertas ideas de Wright habían inducido a Emmanuel Kant a componer, en su soledad prusiana, su propia teoría del universo, en la que concede amplio crédito a las inspiraciones recibidas del escritor inglés.

A Kant debemos, y no a Rafinesque, que no se haya olvidado el nombre de Wright; por Kant le llegaron a conocer los astrónomos Arago, de París, y Struve, de San Petersburgo, influyendo además en la publicación que en 1848 realizó el matemático londinense Morgan de algunos resúmenes de su obra, insistiendo que «su nombre debiera incluirse entre los de los grandes descubridores» [3]. La visión de Morgan está deformada por su ignorancia de los escritos de Kant, pero la relación entre éste y Wright fué estudiada más a fondo por el catedrático de Matemáticas de la Universidad de Durham, R. A. Sampson en 1896 [4], y por el de Teología en la de Glasgow, W. Hastie, en 1900 [5]. Recientemente, en 1941, fué publicado un artículo en la *Durham University Journal*, reimpreso en *The Observatory* [6].

El propósito del presente estudio es celebrar el segundo centenario de la publicación de la *opus magnus* de Wright, y suplementar los anteriores trabajos mediante la publicación de ilustraciones tomadas de sus libros.

Thomas Wright no era sólo un científico, era también un artista, o al menos un artífice del diseño y grabado. No era, sin embargo, buen escritor, y por ello la cita de sus escritos, sin las ilustraciones, no produce una impresión justa del carácter de sus libros. Dos años antes de la aparición de la *Original Theory*, publicó una descripción de las antigüedades irlandesas en un libro ricamente ilustrado, *Louthiana*, fruto de extensos estudios en dicha región de Irlanda. Tanto difieren dichas obras que en el *Dictionary of English Literature* de Allibone aparecen atribuídas a dos autores distintos, ambos llamados Thomas Wright; tienen, sin embargo, en común la inclusión de dibujos cuidadosamente ejecutados, realizados por Wright o bajo su estricta dirección. También gozó nuestro autor de buena reputación como arquitecto, pero entre los millares de visitantes de la catedral de Durham muy pocos saben que los bastiones de las torres occidentales fueron reconstruídos a principios del pasado siglo según un proyecto de Thomas Wright, del que se conserva el dibujo original en la biblioteca capitular de la ciudad.

La portada de su *Original Theory* indica que Wright consideraba que la parte más importante de la obra es la explicación de la Vía Láctea (figura 1), pero de las 32 láminas del libro sólo dos se hallan directamente relacionadas con dicho tema. La primera es una representación de la



AN
ORIGINAL THEORY
OR
NEW HYPOTHESIS
OF THE
UNIVERSE,
Founded upon the
LAWS of NATURE,
AND SOLVING BY
MATHEMATICAL PRINCIPLES
THE
General PHÆNOMENA of the VISIBLE CREATION;
AND PARTICULARLY
The VIA LACTEA.
Compris'd in Nine Familiar LETTERS from the AUTHOR to his FRIEND.
And Illustrated with upwards of Thirty Graven and Mezzotinto Plates,
By the Best MASTERS.

By THOMAS WRIGHT, of DURHAM.

One *Sun by Day, by Night* ten Thousand *shine,*
And light us deep into the DEITY. Dr. YOUNG.

LONDON:
Printed for the AUTHOR, and sold by H. CHAPELLE, in *Grosvenor-Street.*
MDCCL.

FIGURA 1 – *Portada de* Original Theory.

Vía Láctea a través de un telescopio (figura 5). Hoy estamos acostumbrados ya a la belleza y riqueza de las ilustraciones fotográficas de los libros de astronomía, pero es poco probable que antes de Wright se publicasen nunca tan admirables ilustraciones. Otras dos láminas a media tinta de igual valor muestran las Pléyades (figura 6) y Perseo.

La segunda lámina dedicada a la Vía Láctea es un diagrama (figura 8), como la mayoría de las ilustraciones de la obra; en él Wright demuestra por qué, en su opinión, el fenómeno de la Vía Láctea no se debe a una mayor densidad de estrellas en un anillo que rodea al Sol, sino que es únicamente un efecto óptico causado por la especial configuración del sistema estelar al que pertenece dicho astro. Si suponemos que el sistema se extiende más en dos dimensiones espaciales que en la tercera, y si nosotros nos hallamos colocados cerca del centro, parecerá haber una mayor densidad de estrellas en un círculo aproximado, aunque la distancia media entre ellas sea la misma en todas partes. Dicho círculo es la Galaxia.

Thomas Wright tenía derecho a llamar a ésta una «teoría original». Los astrónomos comenzaban entonces a probar por observación telescópica que la Vía Láctea no consistía realmente de una masa nebulosa sino de un gran número de estrellas, demasiado elevado para que pudiesen distinguirse a simple vista; pero era enteramente original pensar que esta elevada concentración de estrellas era sólo aparente y se debía a la especial posición del Sol respecto a los demás astros en nuestra región del universo. Treinta y cinco años más tarde, Herschel, basándose en sus observaciones y desconociendo en absoluto la doctrina de Wright, llegó a la conclusión de que las estrellas de nuestra «nebulosa» se hallaban ordenadas en forma de disco, habiéndose llevado a cabo desde entonces numerosos estudios para determinar su forma exacta y la posición que dentro de él ocupa el Sol. Hoy no cabe dudar la exactitud de la hipótesis de Herschel, que es fundamentalmente la misma que desarrolla Wright en su *Original Theory*.

Kant no vió nunca un volumen de esta obra; todo su conocimiento acerca de ella se deriva de un corto y competentísimo resumen contenido en una revista de Hamburgo que el filósofo leyó por casualidad. Y aunque aceptó la doctrina de Wright, la consideraba sin embargo como una declaración que su autor mismo «no ha usado para ningún fin importante y cuya útil aplicación no ha observado suficientemente». La concepción de Wright es geométrica, y correcta dentro de sus límites. La de Kant es dinámica y evolutiva; trata de explicar, sobre la base de la gravitación universal el modo en que se desarrolló el universo a partir de una inicial distribución uniforme de partículas. El título que dió a su obra, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, indicaba su intención de orientarla como una historia del universo; pudiera traducirse por *Teoría universal de la evolución celeste*, propósito que sobrepasaba todo lo que Wright se había propuesto.

No es éste lugar para estudiar la relación entre los sistemas de Kant y de Wright. Debemos mencionar, con todo, una diferencia básica que no parece haber sido observada antes. La concepción del universo de Wright puede deducirse de varias de sus láminas (*Vid.* figuras 7 y 9); en ellas presenta los numerosos sistemas estelares que imaginaba existían, como encerrados en una esfera o, en sección, en un círculo (en este caso puede observarse el «ojo de la providencia» dentro de cada uno), y numerosos lectores deben de haberse preguntado cuál fuese el significado de tales límites de los sistemas estelares. No aparece explicación ninguna en el texto, pero en otra anterior titulada *The Use of the Globes* incluyó un diagrama semejante, indicando que su esquema se fundaba en

FIG
pa

FIGURA 2 – *«La torre loca de Westerton», construída por Wright para servirle de observatorio.*

FIGURA 3 – *Thomas Wright. (Reducción de un grabado en* quarto *que aparece en algunos ejemplares de* Clavis Coelestis *y* Original Theory.)

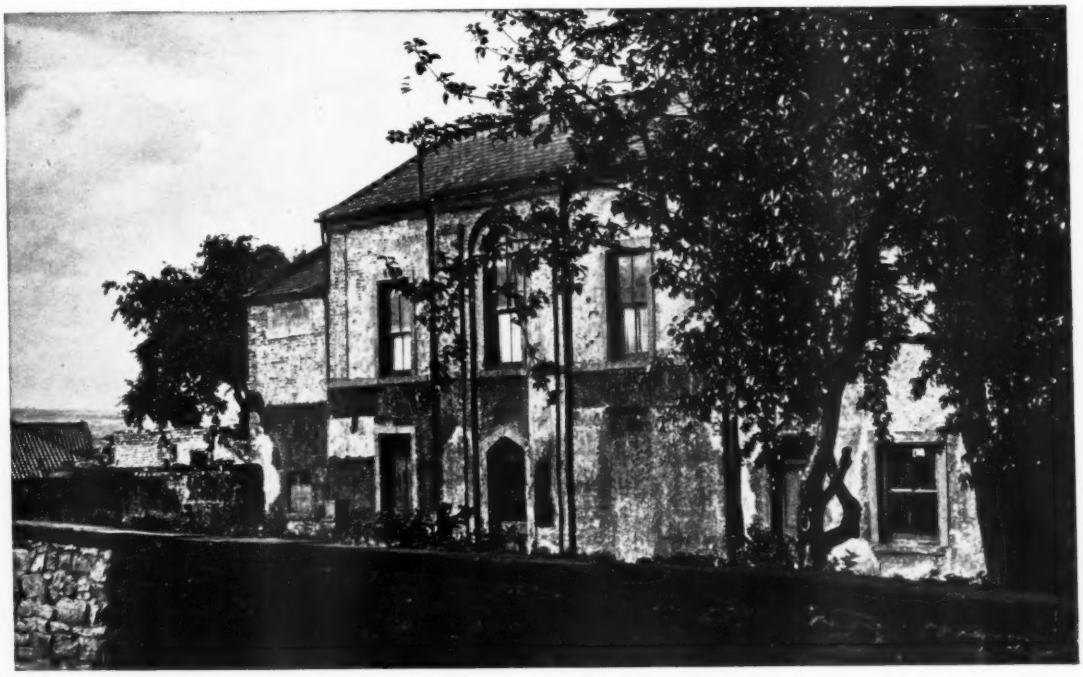


FIGURA 4 – *La casa de Wright, Byer's Green Hall.*

FIGURA 6 – *Pléyades, «vista por un telescopio reflector de un pie».*

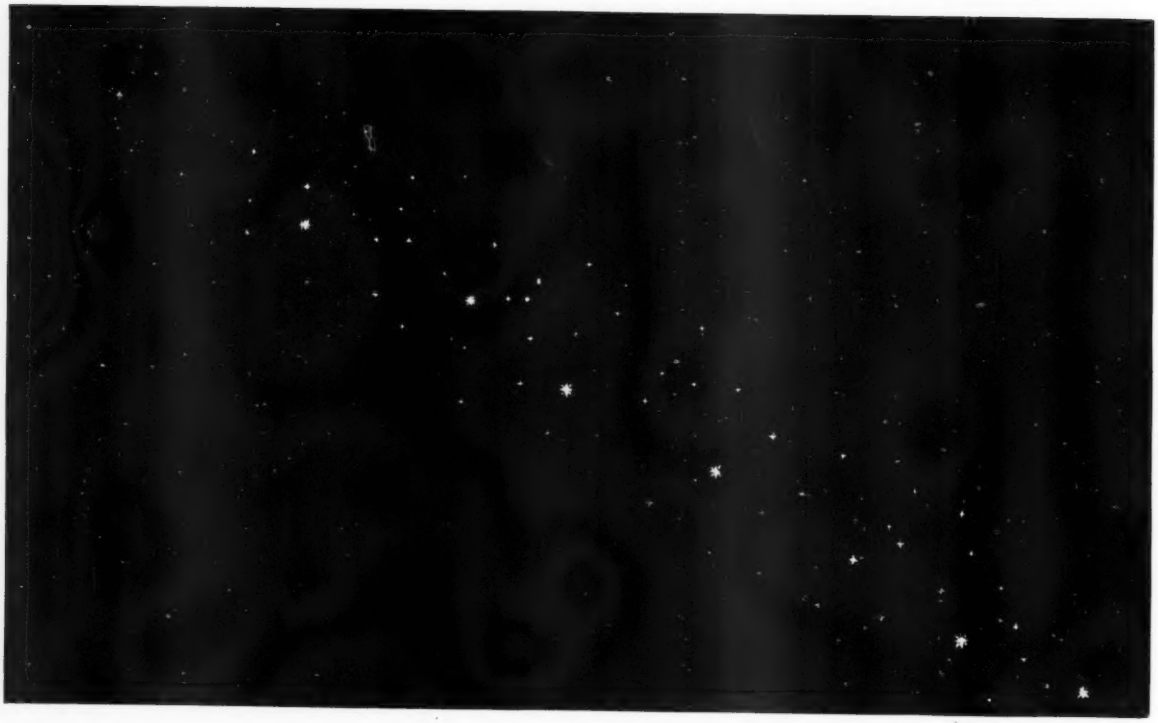


FIGURA 5 – *La Vía Láctea vista «por un buen reflector».*
(*Las figuras 5–10 son de* Original Theory.)

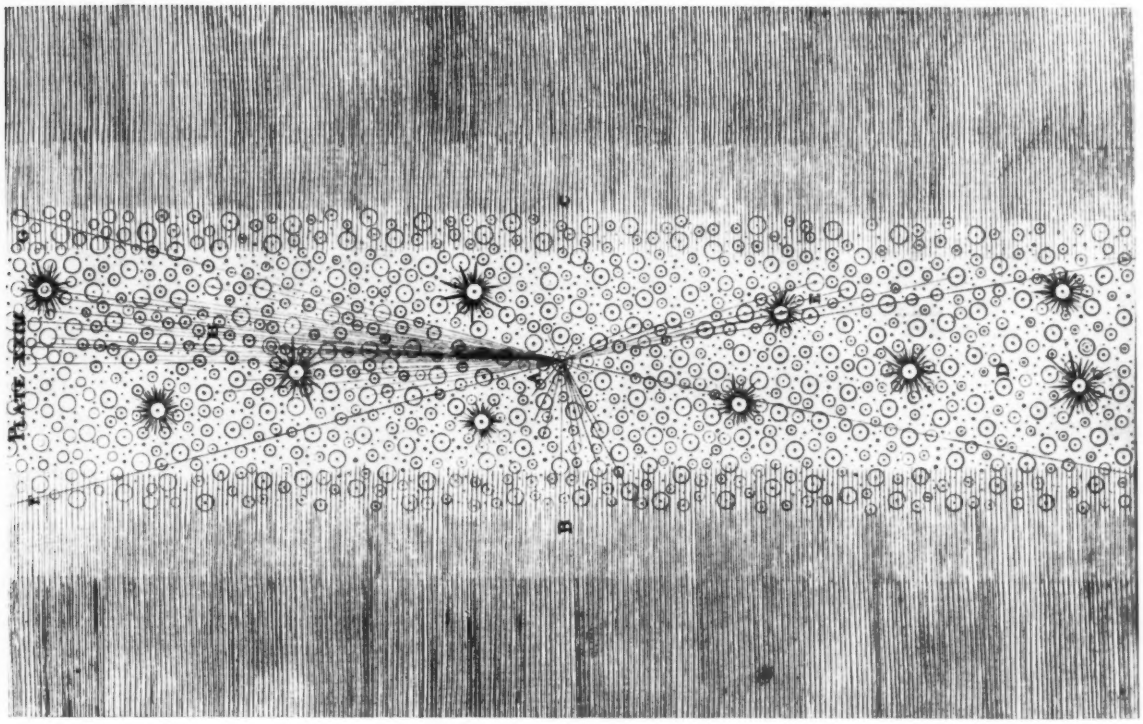


FIGURA 8 – *Diagrama de la Vía Láctea.*

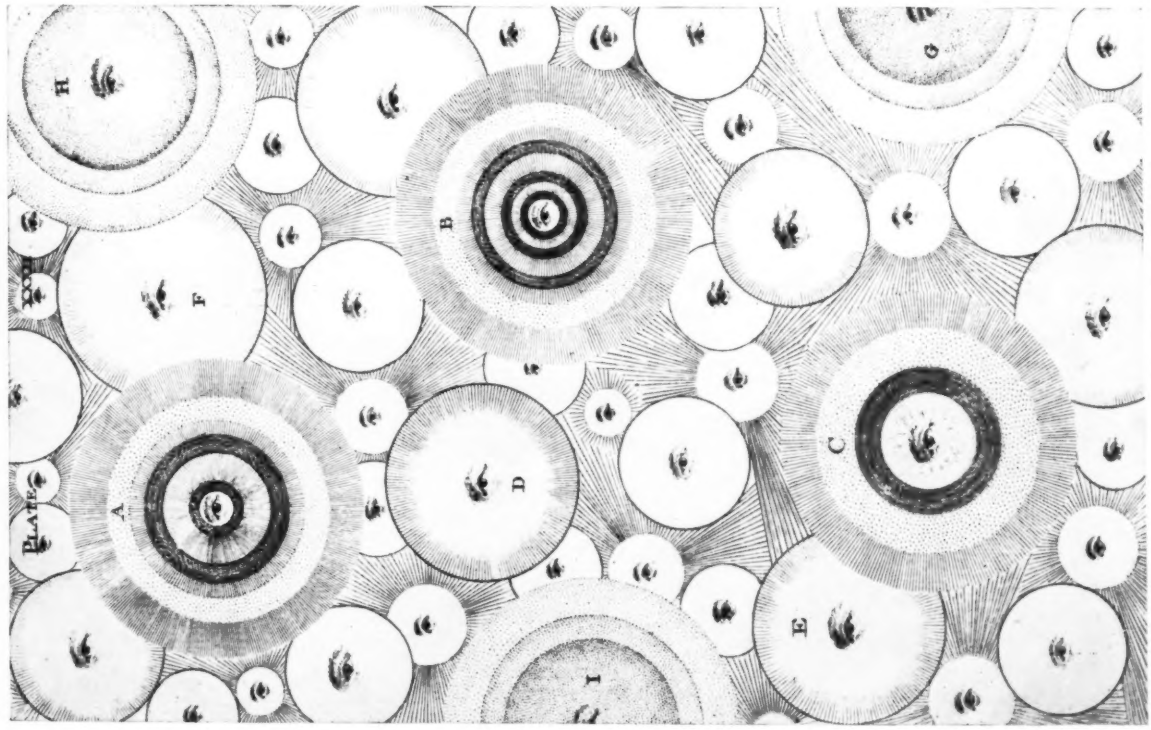


FIGURA 7 – *«Una vista finita de la Infinidad».*

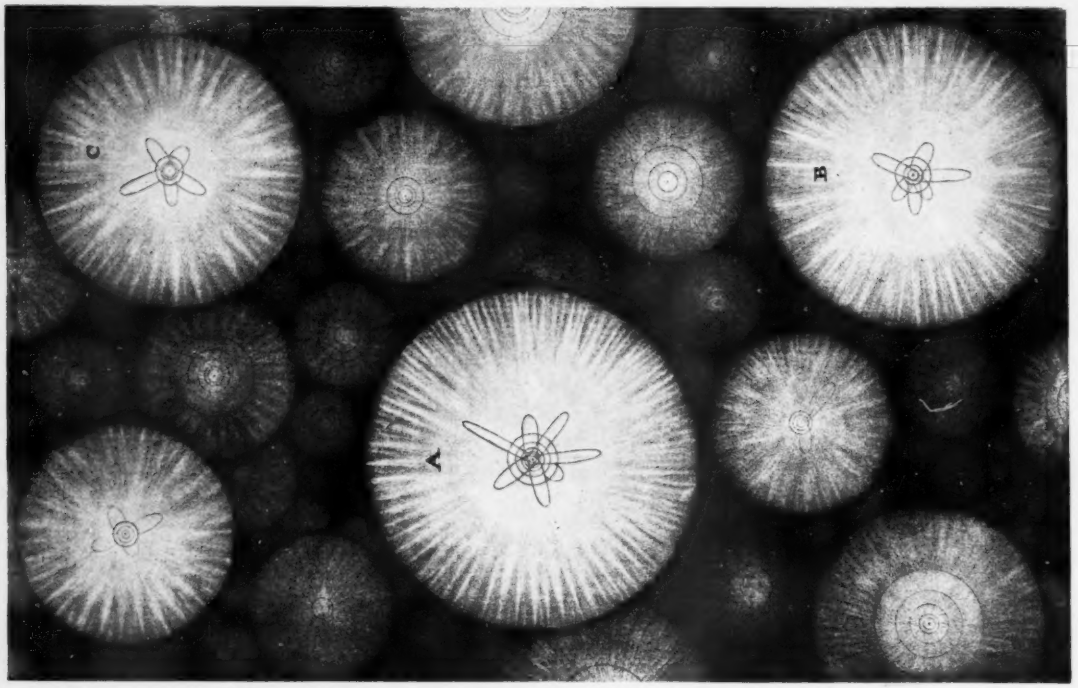


FIGURA 9 – «*Vista perspectiva de la Creación visible*».

esta hipótesis: «que las Estrellas son Soles, y que (como el nuestro) cada una va rodeada de un número apropiado de Planetas y Cometas, poseyendo cada una poder gravitacional independiente de las demás» de modo que «esos sistemas diferentes no se interfieren entre sí». Queda claro en este pasaje que lo que Wright representaba con las esferas envolventes de sus láminas eran los límites de las fuerzas gravitacionales independientes. Esta extraña idea muestra con gran relieve el abismo que existía entre su filosofía natural y la de Kant, quien postulaba la validez universal de la ley newtoniana considerando la atracción «ilimitada y universal», y que alcanza a «toda distancia en la infinitud de la naturaleza».

Entre los diagramas de la obra de Wright hay dos que no son sólo ilustraciones cualitativas sino que sirven para ayudar a los astrónomos en la locación de las estrellas. Wright creía firmemente que las estrellas «fijas» se movían, y a fin de auxiliar a los futuros astrónomos a que estableciesen fuera de toda duda dicho fenómeno, intentó fijar la posición relativa de las estrellas de Pléyades y Perseo tal como él la observaba. Como las láminas de dichas constelaciones no podían servir para tan delicada tarea, las complementó con dibujos geométricos (figura 10), enlazando las estrellas por medio de un sistema de triángulos; suponía que el futuro movimiento de las estrellas cambiaría los ángulos de los vértices, con lo que quedaría destruída la regularidad del diseño. Es extraño, pero muy característico, que confiase únicamente en grabados para tan difíciles comparaciones, sin dar valores numéricos a las posiciones observadas. Es más, si Pléyades se mueve en conjunto, como en realidad sucede, la posición relativa no muestra variación alguna respecto del dibujo.

Wright trabajaba más a gusto con el buril que con la pluma, y aunque las figuras por él grabadas no tienen verdadero valor para la observación de los movimientos estelares, podemos sin embargo ver en ellas una anticipación de la decisiva intervención que hoy ejerce la astrofotografía en los estudios astronómicos. Cuando los modernos observatorios archivan millares de placas para futuras comparaciones no hacen sino repetir el principio que Wright intentaba aplicar con sus planchas en cobre.

Para hacer justicia al autor y a sus peculiaridades no debemos olvidar las del público a que se dirigía. Los suscriptores de su obra eran los mismos personajes aristocráticos a los que él enseñaba de palabra; esto explica no sólo el excesivo número de ilustraciones sino también su costumbre, tan molesta para el lector moderno, de interrumpir constantemente su razonamiento científico con digresiones teológicas, exhortaciones, y citas de poetas. El contenido científico de la obra muy bien pudiera haberse encerrado en menos de la mitad de sus 85 páginas, y en ese caso sus interesantes teorías sobre diversas cuestiones astronómicas quizás hubieran llamado la atención de los sabios contemporáneos. Su originalidad quizás se limite a la explicación de la Vía Láctea, pero es también de notar que Wright se inclina hacia la moderna concepción del anillo de Saturno como un conjunto de partículas. Algunos astrónomos reconocen que su conjetura de que «si pudiéramos observar a Saturno a través de un telescopio capaz, hallaríamos que sus anillos no son más que un infinito número de planetas menores, inferiores a los que denominamos satélites» es un anticipo de las ideas modernas. Sin embargo, Kant, que estudia las dificultades teoréticas que se derivan de la Ley de Keplero, referidas a la hipótesis de un anillo sólido, dice que ya en 1705 Cassini había sugerido que el anillo podía ser un enjambre de satélites. Es muy posible que Wright, que no era tan exacto como Kant en sus citas, hubiera visto el trabajo de Cassini. Pero también es posible, por otra parte, que no tuviese antecesores en su interpretación de las nebulosas como sistemas semejantes a nuestra galaxia, siendo éste uno de los puntos en que influyó sobre Kant, aunque el resumen de Hamburgo que éste leyó no expresa claramente la opinión de Wright. En todo caso, el razonamiento principal de Kant para su interpretación de las nebulosas no se halla en la obra de Wright.

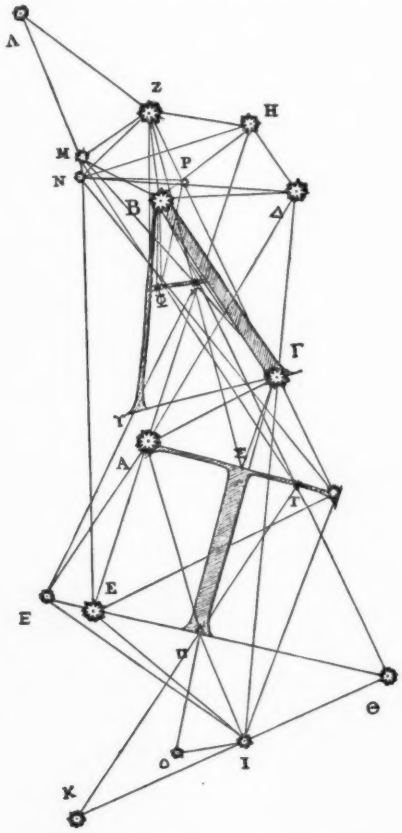


FIGURA 10 – *Diagrama de las Pléyades.*

Mérito del artículo de Morgan, antes mencionado, es el de haber señalado la única fuente de información biográfica sobre Thomas Wright. Poco después de su muerte, un amigo suyo de Darlington, George Allan, publicó en el *Gentleman's Magazine* un *Estudio sobre el carácter de Mr. Thomas Wright* [1]; desgraciadamente Allan era un anticuario, sin conocimientos científicos, interesado sobre todo en el éxito social de su héroe. Thomas Wright, hijo de un carpintero, había nacido en 1711 en la aldea de Byer's Green, a unos 10 km de Durham. Retrasó su instrucción un defecto del habla que sufría, pero en su edad madura llegó a ser el tutor de moda para astronomía y matemáticas de las damas de la aristocracia inglesa, consumiendo sus días en los estados de los grandes duques y condes, cazando y comiendo con ellos; a uno de ellos debía las rentas que le permitieron vivir en ociosidad los últimos años de su vida, en una gran casa que se construyó en su aldea natal y cuyo interior decoró con complicadas pinturas, grabados, y versos de sus poetas favoritos. Allí vivió, solterón, en filosófica serenidad, entre libros e instrumentos, ocupado con los planos para la erección de un observatorio particular, hasta 1786. Está enterrado en el cementerio de San Andrés en Bishop Auckland.

Pronto cayó en el olvido. Como es natural, el autor del obituario no consiguió despertar el interés de los sabios con su retrato de un tutor de nobles familias, excelso en la popularización de la astronomía. Apenas nos da datos sobre las investigaciones de Wright, pero menciona con admiración la erección que llevó a cabo, en los jardines de sus ricos patrones, de grandes modelos del

sistema solar, la construcción de «un abanico astronómico para las damas», y la belleza de las planchas de cobre de sus diversos libros. Todo lo que en alabanza de la *Original Theory* dice es que «está illustrada con numerosas láminas»; pero al menos éstas le interesaban lo bastante para adquirir los cobres originales, al mismo tiempo que los cuadros y grabados de Wright, que, por desgracia, se han perdido. La colección de Allan pasó a la Sociedad Literaria y Filosófica de Newcastle, y es muy probable que contuviese libros y cuadros, y quizás instrumentos de Wright, pero en 1893 un incendio destruyó gran parte de la Sociedad y hoy no se puede hallar en ella nada relacionado con Wright. La casa de Byer's Green todavía existe, pero dividida en tres pequeños apartamentos y rodeada de casas baratas que ocupan los jardines y huertas tan amados de Wright: en su época la casa más cercana se hallaba a cien metros de distancia al menos. La terraza en que acostumbraba a cenar al aire libre también ha desaparecido, de modo que es difícil reconocer en el ordinario «Byer's Green Hall» de hoy (figura 4) la residencia dieciochesca de la que él mismo dió entusiasta descripción en una carta a un amigo [2]. Menos aún queda de la «composición de relojes de sol» que construyó en la boca del puerto de Sunderland, aunque debía ser una pieza de buen tamaño ya que recibió una recompensa de 20 guineas y el Municipio decidió publicar, a sus propias expensas, una descripción de la misma; el muelle fué reconstruído en 1786 y nada se sabe hoy de los relojes de Wright.

Sobrevive, sin embargo, una estructura en el mismo estado en que la dejó Wright: la «torre gótica en una de las más altas colinas de la región», como él la llama (figura 2). Pertenece a la aldeíta de Westerton, a unos 3 km de la casa de Wright, quien pensaba establecer en la torre su observatorio particular, muriendo sin embargo antes de haber instalado en ella sus instrumentos. Lo más probable es que no haya sido usada nunca, a excepción de su utilización como punto de observación durante la última guerra, lo que parece confirmar su nombre local de «la torre loca de Westerton», la gran dificultad en descubrir a su actual propietario, y el hallarse totalmente vacía. A la escalera espiral interior de madera le faltan escalones y le sobra inseguridad, pero el intrépido escalador tendrá como recompensa una vista magnífica del paisaje de su alrededor, con la Catedral de Durham en la distancia: bien eligió Wright su emplazamiento.

La Universidad de Durham celebró el II Centénario de la publicación de la *Original Theory* con una exposición de los libros de Wright — de uno de los cuales sólo existe un ejemplar adquirido recientemente en la misma ciudad — y el descubrimiento de una lápida en la torre-observatorio; hubo también discursos de representantes de otras universidades sobre Wright y el ambiente científico de su período. Nadie quiere emular hoy la afirmación de Rafinesque de que Wright se halla en el mismo plano que Newton, pero aún hay muy pocos que reconocen los verdaderos méritos de nuestro autor y que su *Original Theory* es un eslabón importante en la historia de la astronomía. Lo que Rafinesque valoraba más, los floridos pasajes de Wright en su última carta sobre los principios morales y teológicos (que creía hallarse localizados en el centro del universo), es precisamente lo que Kant trata con ironía apenas disimulada y desprecia diciendo brevemente que se trata de un «entusiasmo fanático». Ni Rafinesque ni Allan podían dar a Wright «nueva vida y fama» porque lo que admiraban en él, y lo que sin duda éste consideraba más importante, o bien era irrelevante, o no podía resistir la crítica seria. Por otra parte, su gran idea, la concepción de la Vía Láctea, no parece haberle interesado mucho en sus últimos años, pues nunca volvió a ella, y la «útil aplicación» se le escapó por completo. Kant, que fué quien la percibió era el más indicado para señalar lo que tenía valor permanente en la obra de Wright.

Es imposible super-estimar la influencia que la ciencia británica ejerció en el desarrollo del gran filósofo alemán, quien siguió fielmente las doctrinas de Newton, incluyendo en el prefacio de su *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* un «Resumen de los Principios más necesarios de la Filosofía Natural de Newton» para poder comprender su propia obra. Su período filosófico original comenzó con la lectura de Hume quien, según sus propias palabras, «le despertó de su modorra dogmática». Y en Wright tenemos a otro inglés que ayudó decisivamente a Kant a formular sus propias ideas, hecho tanto más notable si recordamos que Wright no dejó marca ninguna en el desarrollo de la astronomía en su propio país.

BIBLIOGRAFIA SOBRE THOMAS WRIGHT

[1] «A Sketch of the Character of Mr. Thomas Wright, late of Byer's Green Lodge, in the County of Durham» en *Gentleman's Magazine*, **63**, 6 y 126, 1793. El autor anónimo del artículo había sido amigo de Wright y podía basar sus afirmaciones en observaciones personales y en los libros de notas del propio Wright. Esta es la única fuente original de información sobre la vida de Wright; los párrafos a él referentes en los diccionarios biográficos y topográficos (sobre Darlington, Bishop Auckland, Condado de Durham, etc.) la copian casi literalmente. El retrato de Wright incluído en el artículo es semejante al grabado que reproducimos, pero mucho más crudo.

[2] «Mr. Wright's description of his Villa at Byer's Green», en *Gentleman's Magazine*, **63**, 213, 1793. Carta muy característica de Wright a un amigo suyo, publicada como apéndice al artículo anterior.

En los siguientes estudios se hallará una valoración de las doctrinas científicas de Wright, y de su influencia sobre Kant.

[3] MORGAN. «An Account of the Speculations of Thomas Wright of Durham», en *Philosophical Magazine* (3), **32**, 241, 1848.

[4] SAMPSON, R. A. «Thomas Wright, the Durham Astronomer», *Proceedings of the Society of Antiquaries of Newcastle-upon-Tyne*, **8**, Enero 1895 a Diciembre 1896.

[5] HASTIE, W. «Kant's Cosmogony». James Maclehose and Sons, Glasgow. 1900.

[6] PANETH, F. A. «Thomas Wright of Durham and Immanual Kant», en *Durham University Journal*, N.S., **2**, 111, 1941; reimpreso algo abreviado en *The Observatory*, **64**, 71, 1941.

Extensos resúmenes de la biografía de Wright y de sus libros aparecen en:

[7] GUSHEE, VERA. «Thomas Wright of Durham, Astronomer» en *Isis*, **33**, 197, 1941. Parece dudosa la autenticidad del retrato incluído.

OBRAS PUBLICADAS POR THOMAS WRIGHT

«Pannauticon», 1734. Según el biógrafo de Wright era un tratado de navegación, publicado con el apoyo de la Marina y por suscripción. Es extraño que no exista ningún ejemplar ni se halle mención de esta obra en ninguna parte.

«The Universal Vicissitude of Seasons», 1737, de la que parece existir un único ejemplar que se halla en la Biblioteca de la Universidad de Durham. Los diagramas e ilustraciones están iluminados a mano, con lo que esta curiosa obra se halla más cerca de ser un manuscrito, a pesar del uso de planchas de cobre, que un impreso.

«The Use of the Globes», 1740. Folleto escrito a petición de John Senex, para uso como instructor en el manejo de sus globos celestes y terráqueos. Hoy raro.

«Clavis Coelestis, being the Explication of a Diagram entituled a Synopsis of the Universe: or, the Visible World Epitomised», 1742. Introducción popular a la astronomía, con tres grandes láminas que contienen diversas figuras. Las láminas son de tamaño tan incómodo que en varios ejemplares se las ha cortado en *quarto*; en otros están estropeadas, o ausentes.

«Louthiana», 1748. Descripción de las antigüedades del Condado irlandés de Louth. Las ilustraciones (algunas firmadas por Wright) muestran su habilidad — y también sus limitaciones — de artista. Ejemplares en numerosas bibliotecas.

«An Original Theory, or New Hypothesis of the Universe», 1750. Obra principal de Wright y tema del presente artículo. Cuatro ejemplares en las bibliotecas de Durham, y un número limitado en otras.

«The Longitude Discover'd without use of Graduated Instruments», 1773. Según Miss Gushee se conserva un ejemplar en la Biblioteca pública de Nueva York.

En el Museo Británico existen dos manuscritos de Wright: el «Diario» en que se basa principalmente la biografía del *Gentleman's Magazine*, y «Observations on . . . Remains of Antiquity . . . taken on a tour through England» (British Museum Add. MSS. 15627 y 15628).

La *Royal Society* posee algunas cartas de Thomas Wright sobre temas astronómicos y arquológicos, y la *Royal Astronomical Society* una carta caligráfica dirigida a «Sus Excelencias los Señores Justicias del Reino de Irlanda» proponiendo trazar un mapa exacto de los puertos, rocas, etc. de las costas de Irlanda, en beneficio de la navegación.

Los colores del cielo diurno

JAMES PATON

Estudio de la ley de la difusión luminosa en el cielo. Explicación del azul oscuro a 90° del sol. Efectos del polvo y gotitas de agua, y de las nubes. Teoría del arco iris y formación de halos. Diagramas y láminas en color que aclaran las explicaciones e ilustran la descripción de los fenómenos del color del cielo al amanecer y al anochecer.

Hasta fines del siglo XIX no se encontró una explicación satisfactoria de la causa del color azul celeste. Sólo después de que Brücke, y más tarde Tyndall, probaron experimentalmente que una suspensión de pequeñas partículas (al través de las cuales pudieran verse claramente los objetos) aparecía azul cuando era iluminada por una luz blanca, pudo Lord Rayleigh demostrar teóricamente que «la luz dispersada por las moléculas atmosféricas bastaría para darnos un cielo azul, no mucho más oscuro que el que realmente disfrutamos». De hecho, demostró que la intensidad de la luz esparcida por una sola partícula de dimensiones pequeñas, comparadas con la longitud de onda luminosa λ, varía en razón inversa de λ^4, de modo que la luz del cielo, que es la luz solar dispersa, contiene todos los colores del espectro, pero los de longitud de onda más corta, violeta y azul, son los que presentan mayor intensidad (curva superior, figura 1). El sol aparece más marcadamente rojo en la aurora y en el ocaso porque entonces su luz, al pasar a través de un máximo espesor de aire, queda desprovista más efectivamente de sus ondas cortas.

Cuando una sombra debida a una extensa cortina de nubes se atraviesa en el camino de la luz que viene del cielo claro cerca del horizonte (figura 2), la distribución de la intensidad de la luz entre los diferentes colores puede quedar tan alterada por una nueva dispersión, que cabe que el cielo distante aparezca anaranjado o, con menos frecuencia, verde. Las curvas de la figura 1 muestran que al aumentar la distancia *OA*, la dispersión proporcionalmente mayor de las ondas cortas causa que el máximo se desplace del azul al verde, y finalmente al anaranjado, requiriendo éste último una ruta de unos 48 km. Esta rara coloración puede presentarse siempre que la luz celeste, como en el crepúsculo, atraviese una región en sombra. La luz que primero aparece en el horizonte del cielo, después de un eclipse total de sol, es de color anaranjado.

Mientras las pequeñas partículas esparcen preferentemente el violeta y el azul con una intensidad que es casi independiente de su dirección, los granos mayores, es decir, las partículas de polvo y de agua de más tamaño, esparcen igualmente todos los colores, pero casi de un modo exclusivo en las direcciones señaladas por la luz incidente (figura 3). Este último hecho explica el aumento de brillantez y de blancura del cielo alrededor del sol. El cielo es más oscuro y más azul en un ángulo de unos 90° desde el sol, porque sólo las partículas más pequeñas — principalmente moléculas — son capaces de dirigir la luz en esa dirección (de aquí el azul profundo de un claro cielo cenital en la aurora y en la puesta de sol: plancha 12). El cielo aparece también más blanco y más brillante cerca del horizonte (planchas 7 y 8), en parte porque hay una mayor concentración de partículas grandes junto a la superficie de la tierra, y en parte porque el aire tiene más espesor óptico en aquel lugar. Porque, aunque cada molécula distante esparce con preferencia el azul y el violeta, éstos son precisamente los colores que se ven desvanecidos con más intensidad durante su pasaje hacia el observador; de modo que la composición se aproxima constantemente a la luz blanca (figura 1). Esta blancura a lo largo del horizonte se convierte en color anaranjado al ponerse el sol.

Mientras la presencia de polvo fino contribuye al azul celeste y realza el rojo del ocaso, como ocurre en las zonas industriales y después de las erupciones volcánicas (plancha 10), las partículas más grandes blanquean el azul (o, en el caso de partículas de humo, le añaden su propio color), notándose fácilmente el indicado efecto en el azul profundo del cielo, después de caer un fuerte chaparrón que arrastre consigo dichas partículas. Cuando se hallan en apreciable cantidad en la baja atmósfera, los granos de polvo o las gotitas de agua hacen visibles las líneas rectas de los rayos que bordean la nube o la sombra de la montaña

1

2

3

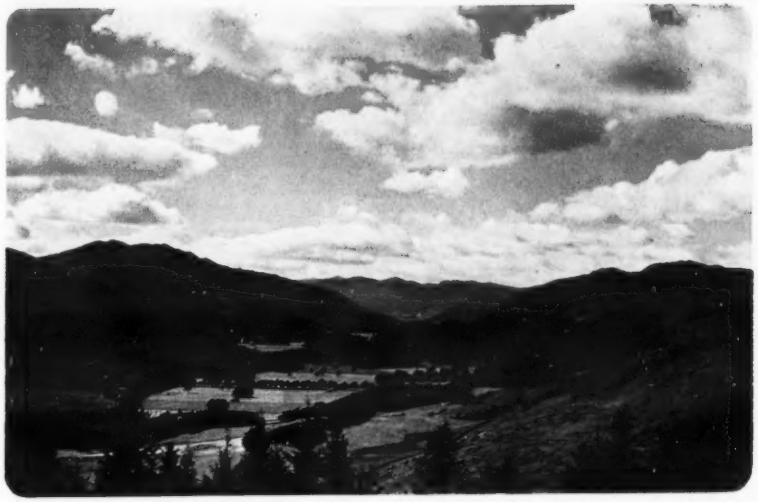
4

PLANCHAS 1–4 – *El cielo del este en el ocaso:* (1) *Al ponerse el sol;* (2) *siete minutos después de ponerse el sol;* (3) 15 *minutos después de ponerse el sol;* (4) 21 *minutos después de ponerse el sol. Nótese la sombra ascendente de la tierra, el arco del crepúsculo y los rayos anticrepusculares (formados por nubes del horizonte occidental) en el crepúsculo opuesto. Las nubes del horizonte oriental (plancha* 1) *permanecen brillantes después de que el primer plano se ha oscurecido.*

PLANCHA 5 – *El efecto de grandes partículas suspendidas en la atmósfera. Glen Lednock, Perthshire, en condiciones despejadas.*

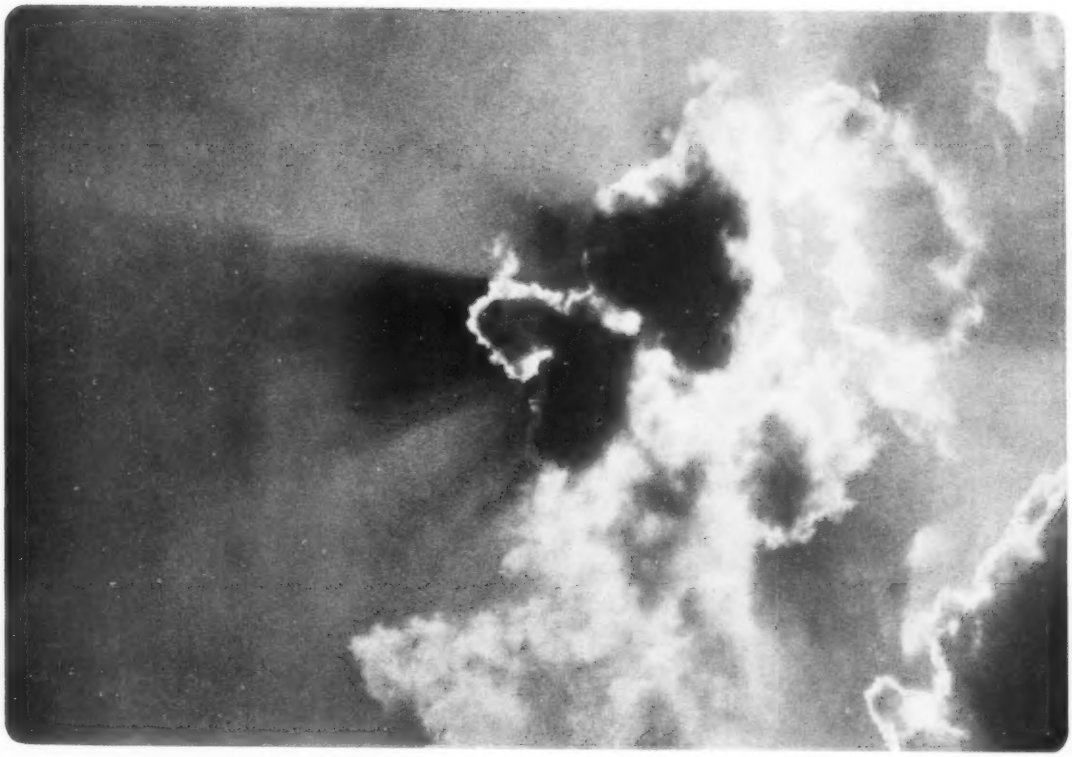
PLANCHA 6 – *La misma vista con niebla.*

PLANCHA 7 – *Luz y sombra en nubes cumulus. Glen Feshie, Inverness-shire.*



PLANCHA 8 – *La extensión del azul del cielo hasta las colinas distantes. Strathearn, Perthshire.*

PLANCHA 10 – *El Anillo del Obispo. Fotografía tomada en Canadá, pocos días después de una erupción volcánica en Islandia.*



PLANCHA 9 – *Rayos crepusculares.*

11

12

13

PLANCHAS 11–14 – *El cielo del oeste en el ocaso. Fulgores crepusculares:* (11) *Un minuto antes de la puesta de sol;* (12) *la puesta de sol;* (13) 18 *minutos después de la puesta de sol;* (14) 30 *minutos después de la puesta de sol.*

14

(plancha 9). Aunque los rayos son, naturalmente, paralelos, aparecen convergentes, hacia el sol o el punto antisolar (planchas 1, 2, 3 y 4). Por hallarse principalmente asociados con el crepúsculo, se les ha dado el nombre de rayos crepusculares, pero en condiciones adecuadas pueden ser vistos a cualquier hora del día.

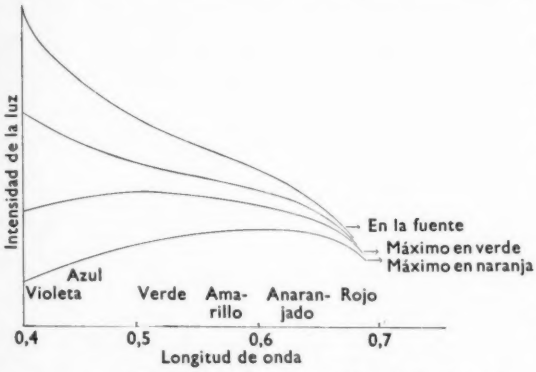


FIGURA 1 – *El cambio de composición de la luz dispersada por un pequeño volumen de aire, que se traslada a distancias crecientes. La curva superior muestra la composición cerca del elemento dispersador. Las curvas inferiores muestran el efecto de la mayor dispersión, al aumentar la distancia. La curva más baja representa, aproximadamente, el efecto del paso a lo largo de una distancia de unos* 48 *km.*

La suspensión de gotitas de agua que constituye la niebla hace que los objetos se vean al través de ella más blancos (planchas 5 y 6), mostrándose la propia niebla más clara en las proximidades del sol (figura 3).

Las gotas de agua de un cumulus están tan densamente apretadas que su superficie es casi un reflector perfecto, y cuando está iluminada directamente por el sol tiene una blancura deslumbrante, mientras que sus partes en sombra son de un gris oscuro (plancha 7).

En condiciones despejadas, cuando no hay grandes partículas en la atmósfera, se ve al azul celeste descender hasta las colinas distantes (plancha 8). Las dispersiones de la atmósfera entre el observador y las colinas hacen más azul la luz que viene del fondo oscuro, y proporcionan un medio de calcular las distancias, comparando las intensidades del azul en los distantes horizontes. Hay un efecto complementario que no puede observarse tan fácilmente y es, por lo tanto, menos conocido. En condiciones de excelente visibilidad, las montañas cubiertas de nieve y los cumulus se hacen tanto más amarillos cuanto más distantes se encuentren. En este caso, la fuerte luz procedente del fondo brillante llega hasta el observador despojada de rayos violetas y azules, pero esta pérdida de azul es pequeña comparada con la intensidad total.

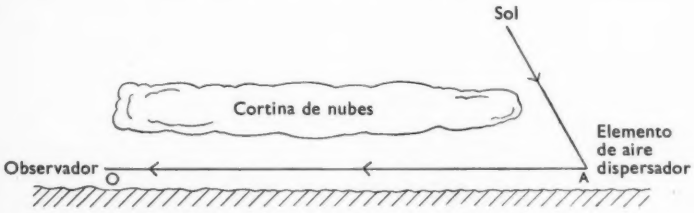


FIGURA 2 – *El paso de la luz desde el cielo claro en el horizonte hasta un observador, al través de una región no iluminada de la atmósfera (por interposición de una nube).*

La geometría del arco iris fué formulada primeramente por Descartes, quien mostró que, cuando un rayo de luz solar entra en una gota de agua y es reflejado en la superficie posterior, la dirección de la luz emergente queda confinada entre la dirección del rayo que cae normalmente en la gota y la del rayo de desviación mínima. Realmente, esta luz reflejada una vez está tan fuertemente concentrada en la última dirección, que un observador, colocado entre un sol inobstaculizado y un chaparrón, ve un arco (el arco primario) como parte de un círculo de un radio angular de 42°, cuyo centro reside en la línea desde su ojo al punto antisolar. Como la luz que ha sido reflejada una vez dentro de una gota de agua sólo puede llegar al observador desde la parte del cielo situada debajo

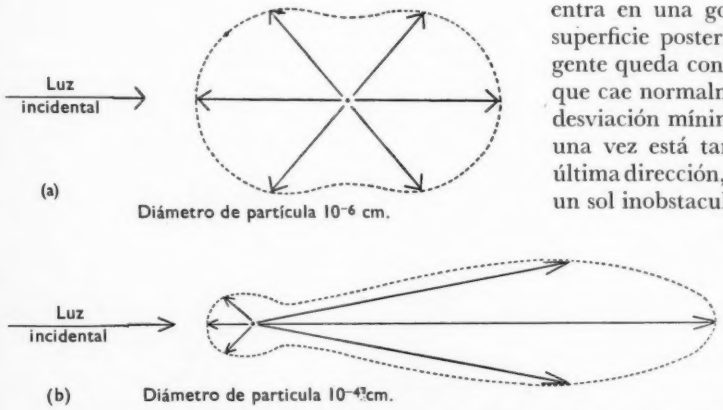


FIGURA 3 – *La variación de intensidad de la luz dispersada, en dirección alrededor de la partícula dispersadora.*

PLANCHA 15 – *Arcos iris primario y secundario. Nótese la región oscura entre los dos arcos.*

PLANCHA 16 – *Halo. El anillo de 22°.*
(*Planchas de transparencias* Kodachrome *por John F. Steljes.*)

del arco, la región superior al arco es generalmente más oscura que la inferior.

La luz que sufre dos reflexiones dentro de la gota de agua produce en la misma forma un arco de un radio de 51° (el arco secundario) con los colores espectrales invertidos. La luz reflejada dos veces sólo puede llegar al observador desde la parte del cielo superior al arco; de modo que, si la reflexión por el fondo de nubes es débil, la región comprendida entre la cima roja del arco primario y la base roja del arco secundario es marcadamente más oscura que el resto del cielo (plancha 15). Los arcos supernumerarios que aparecen fuera del violeta, por debajo del arco primario y por encima del secundario, son bandas de interferencia cuya anchura y espaciamiento están determinados por el diámetro de las gotas de agua.

Los cristales hexagonales de hielo de los cirrus y cirro-stratus producen una amplia variedad de caminos posibles para la luz solar, y pueden causar concentraciones de luz en anillos, arcos y parhelios, clasificadas como fenómenos de halo. Algunos, como el pequeño anillo de 22° son de frecuente aparición; otros se ven más raramente. Como un cristal hexagonal columnario refracta la luz a la manera de un prisma con un ángulo refractor de 60°, se da una desviación mínima de unos 22° en pasaje simétrico, siendo el índice de refracción del hielo, para la luz amarilla, de 1,31. Al girar cada cristal hacia la posición que da la desviación mínima y aún más allá, la dirección de la luz emergente cambia con mucha lentitud, de modo que hay siempre mayor número de cristales dirigiendo la luz en aquella dirección que en otras. Así es que, en una ordenación casual de cristales, la luz se concentra en la dirección del rayo de desviación mínima, es decir, en las direcciones de 22° desde la dirección del sol, formando un anillo de un radio de 22° con un borde interno rojo, porque el rojo sufre la desviación mínima. Debido principalmente a las variaciones de desviación causadas por la inclinación de los cristales, los otros colores casi desaparecen en una mezcla, y sólo hay generalmente una luz pálida más allá del borde rojo (plancha 16). Como ninguna luz refractada llega al observador desde el interior del anillo, la región interna de éste es más oscura que la externa.

La difracción por las gotas de una cortina de nubes que cubra el sol o la luna, es la causa de la formación de la aureola de borde rojo castaño, la corona, cuyo diámetro y distribución de colores dependen del tamaño de las gotas. La iridiscencia que se advierte a veces en nubes que distan hasta 30° del sol es casi seguramente una porción de una corona, producida por la reunión de minúsculas partículas de nube de tamaño uniforme. A veces, después de una erupción volcánica, el sol aparece rodeado de una aureola de color rojo castaño: el «Anillo del Obispo», llamado así porque fué observado por primera vez, después de la erupción del Krakatoa en 1883, por el Obispo de Honolulú (plancha 10).

La aurora y el ocaso producen el más rico esplendor en los colores del cielo. Bajo condiciones favorables, la sombra de la tierra se levanta en el crepúsculo vespertino en el oriente como un arco azul grisáceo, transportando sobre él las franjas de color del crepúsculo opuesto (planchas 1, 2, 3 y 4): púrpura, carmesí, naranja, amarillo, verde, azul, ordenados hacia arriba, para fundirse en la difusa iluminación originada por la reflexión de la más fuerte luz del oeste. Unos cuarenta minutos después de la puesta de sol, la línea fronteriza de la sombra de la tierra se hace imperceptible y el crepúsculo opuesto se desvanece. La explicación de las bandas del crepúsculo opuesto reside en el hecho de que la luz que ilumina el cielo del este se hace progresivamente más roja, por dispersión, a medida que desciende en la atmósfera. En el poniente, el fulgor amarillento, a veces rosado, que rodea al sol (figura 3) al acercarse al horizonte, permanece visible en su sección superior durante cerca de media hora después de la puesta del sol (planchas 11, 12, 13 y 14), cambiando lentamente de color, hacia otro rosado y finalmente blanco azulado. Al desvanecerse gradualmente este color, alrededor de media hora después del ocaso, aparece a veces por un breve tiempo el resplandor de púrpura brillante que resulta tan deslumbrador cuando ilumina las fachadas occidentales de los grandes edificios. Se ha atribuído este fenómeno a la presencia de una capa de polvo fino, de una altura de 10 a 20 km, cuyas zonas más bajas están bañadas en luz roja, mientras que las superiores reciben una luz que, habiendo atravesado una región de aire más rarificado, contiene todavía mucho tinte azul. Finalmente, se ve en el horizonte occidental la luz blanca azulada, el fulgor del crepúsculo, cuya desaparición cuando el sol se encuentra a 18° por debajo del horizonte marca el fin del crepúsculo astronómico.

Puede verse un relato excelente y muy completo de los fenómenos ópticos atmosféricos en la obra: *Light and Colour in the Open Air* de MINNAERT. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1940.

Los parásitos y la guerra

GEOFFREY LAPAGE

Estudio de la incidencia y control de enfermedades parasitarias y de la incapacitación que causan en los ejércitos modernos. Parásitos que viven dentro del cuerpo humano y son transmitidos por mosquitos y moscas: parásito de la malaria, ameba disentérica, lombriz de la triquinosis, y lombriz de Guinea que causa últimamente la elefantiasis. Parásitos externos, como los piojos y pulgas, que transmiten los organismos que causan las enfermedades tíficas en sus distintas formas.

Los parásitos de todas clases, sean bacterias y virus o sean animales parásitos, han ejercido a través de la historia una poderosa influencia en las guerras. Especialmente en los trópicos y en todos los países cálidos, el mando militar debe contar con el poder de ciertos animales parásitos para restringir o frustrar los planes militares.

Entre los animales parásitos que atacan al hombre, tal vez los parásitos del paludismo son los más poderosos. Ya bien conocido, y con frecuencia causa de defunciones en tiempos de Hipócrates, y probablemente mucho antes, el paludismo ha causado y causa aún tantos trastornos y sufrimientos que algunos especialistas lo consideran como la peor de todas las enfermedades humanas.

El estado enfermizo crónico que produce el paludismo, el gran número de gentes que ha matado, y su capacidad de destruir gradualmente la virilidad de las naciones, son hechos bien establecidos en una gran profusión de escritos. Se ha sugerido, por ejemplo, que uno de los factores que causó la degeneración del pueblo griego y su rendición a los romanos fué el paludismo que se había enseñoreado de su país, y que los ciclos periódicos del paludismo en La Campania coincidieron con las fluctuaciones del poderío de Roma, con su decadencia y su desaparición. Encontramos el paludismo ampliamente distribuído en las regiones tropical y subtropical del globo y también en gran número de zonas templadas, y sólo en la actualidad ha empezado a ceder a las medidas de control planeadas por la ciencia moderna. Estas medidas no sólo atacan a los parásitos en el cuerpo humano sino que también posibilitan la extirpación de los mosquitos portadores del paludismo en zonas vastísimas de países de acceso difícil. Parece fuera de duda que por fin entramos en el camino de llegar al control de esta devastadora enfermedad, tanto más después del descubrimiento de la paludrina.[1]

[1] *Endeavour*, 5, 65, 1946.

Si bien el mundo, en el futuro, podrá verse libre de la amenaza del paludismo, no hay duda de que hasta tiempos muy recientes ha sido un azote que planteó un problema primario para los altos mandos militares al operar en regiones en que preponderaba dicha dolencia. Ha desconcertado estrategias y originado derrotas, y cuando ha atacado a ambos contendientes en el campo de batalla, ha llegado a paralizar la lucha. Durante la primera guerra mundial cuando las tropas aliadas combatían en Macedonia, lo mismo ellas que las alemanas sufrieron grandes pérdidas a causa del paludismo, como pueden muy bien recordar cuantos lucharon en aquella zona de combate. En 1916, cerca de una cuarta parte del contingente inglés de Macedonia, de unos 123 000 hombres, tuvo que hospitalizarse para el tratamiento del paludismo, y con severidad parecida sufrieron las tropas francesas. En 1917 y 1918, casi la mitad del ejército británico quedó fuera de combate a causa de dicha enfermedad. Las fuerzas alemanas la sufrieron con la misma intensidad, de tal modo que se hicieron imposibles las operaciones militares. En 1916 el Cuerpo Expedicionario de Africa Oriental, compuesto de unos 58 000 hombres, fué prácticamente inmovilizado por el paludismo; cerca de 50 000 de ellos tuvieron que hospitalizarse durante dicho año. En 1917 el paludismo hospitalizó 72 000 hombres, elevándose a 499 las defunciones a causa de la dolencia. También en Irak el paludismo redujo considerablemente la eficiencia de las tropas.

Durante la segunda guerra mundial, el paludismo continuó siendo un peligro serio para los ejércitos. El Dr. Hamilton Fairley, dice en *The Fight against Disease*, órgano de la «Research Defence Society» (1947), que las bajas causadas por el paludismo en las regiones del Sudoeste del Pacífico durante cuatro meses entre finales de 1942 y principios de 1943 ascendieron a un 90 por

ciento del total de las fuerzas empleadas. Incidentalmente, cita números que ponen de manifiesto que durante la campaña inicial contra los japoneses en 1942–3, las bajas debidas a la enfermedad fueron de 5 a 30 veces más numerosas que las sufridas en la lucha. Esta incidencia de la enfermedad la experimentaron por igual las tropas indias y británicas en Burma, las de Estados Unidos en Bataan y Guadalcanal, y las australianas en Nueva Guinea y Nueva Bretaña. En Bataan cerca del 85% de cada regimiento norteamericano contrajo paludismo. Además del paludismo, las tropas de esas regiones sufrieron de disentería bacilar, dengue, fiebre tífica y de varias enfermedades de la piel; pero la importancia del paludismo se manifiesta en el hecho de que de 60 al 80% de las bajas clínicas experimentadas por las fuerzas australianas en Nueva Guinea entre Septiembre de 1943 y Febrero de 1944, deben achacarse al paludismo. Aun cuando los ejércitos nipones sufrieron también severamente, la amenaza a las tropas británicas y aliadas fué muy grave, por lo que se dió máxima prioridad a las investigaciones planeadas por el Dr. Fairley. El resultado de estos trabajos fué que la amenaza militar del paludismo quedó controlada.

Los parásitos del paludismo pertenecen al grupo de animales unicelulares denominados Protozoos, entre los que se cuenta la ameba (*Entamoeba histolytica*), que ocasiona la amebiasis intestinal. Esta enfermedad, que hay que distinguirla cuidadosamente de la disentería bacterial, ha sido también un enemigo poderoso de las fuerzas armadas. Los seres humanos son infectados por los diminutos quistes expelidos junto con las deposiciones sólidas y pueden ir a parar a los suministros de agua y de alimentos o ser llevados allí por moscas u otros medios. Un saneamiento eficaz podrá contribuir con mucho a la eliminación de esta enfermedad. La ausencia de medidas sanitarias eficaces condujo al predominio de la amebiasis intestinal, y probablemente también a otras enfermedades parasitarias entre las tropas del Eje en Egipto durante la reciente guerra. Este estado de cosas fué tanto más notable por cuanto el *Afrika Korps* alemán fué instruído sobre los riesgos de las enfermedades parasitarias, con característica escrupulosidad, como parte de su entrenamiento intensivo para la guerra en países cálidos. En el Asia Sudoriental la incidencia de la amebiasis intestinal alcanzó a un 12%.

Una razón por la que los parásitos del paludismo producen tan devastadores efectos, está en que, una vez inyectados en el hombre por el mosquito, pueden multiplicarse en el interior del cuerpo al igual que las bacterias. Se multiplican asimismo dentro del cuerpo del mosquito, que los inyecta luego en el hombre. Una picadura de mosquito puede, pues, introducir en la sangre humana suficiente número de parásitos del paludismo para causar — al multiplicarse — una fuerte infección capaz de arrollar, con relativa rapidez, las defensas del organismo humano. Los nematodos parásitos por otra parte — algunos de los cuales constituyen un peligro serio para las operaciones militares — no pueden multiplicarse de este modo, por lo que dejan sentir más lentamente sus efectos. Si, no obstante, se introducen suficientes nematodos en el cuerpo humano, sus efectos pueden ser de gravedad. Entre las especies de nematodos que han afectado a las tropas en acción, probablemente la triquina del cerdo (*Trichinella spiralis*), la lombriz del intestino delgado (*Ascaris lumbricoides*) y las Filarias son las más importantes.

La *Trichinella spiralis*, que origina la enfermedad llamada triquinosis, pasa generalmente al hombre cuando come carnes crudas de cerdo que contengan las larvas de dicho nematodo, o bien carne de cerdo que no tuvo suficiente cocción para matarlas. Estando de servicio en campaña tal vez no sea posible cocer suficientemente la carne de cerdo, o puede ser que los soldados la prefieran cruda. Una pequeña patrulla alemana de invasión, por ejemplo, operando en la frontera polaca durante la guerra del 1939–45, hizo alto por la noche y se apropió de un cerdo de una granja vecina. Los hombres comieron el cerdo crudo, en parte por tener mucha hambre y en parte también para no descubrir su presencia encendiendo fuego para cocerlo. Desgraciadamente para ellos, los músculos del cerdo estaban incrustados de triquinas, cosa que nada tiene de extraordinario en aquella parte de Europa, con el consiguiente resultado de quedar todos fuera de acción por la triquinosis.

Más grave, desde el punto de vista del enemigo, fué aprovisionar un batallón alemán, de operaciones en Noruega, de una comida de carne de cerdo cruda o insuficientemente cocida. La mayor parte del batallón contrajo la triquinosis, y naturalmente los individuos fueron bajas. Muchos mandaron dicha carne como obsequio a sus parientes y amigos en Alemania, los que también quedaron infectados. Las autoridades alemanas en consecuencia tuvieron que intervenir en muchos casos de infección entre la población civil de su propio país.

Menos, pero graves con todo, lo fueron los efectos del oxiuro humano (*Enterobius vermicularis*), parásito de los niños bien conocido en todo el mundo. Esta lombriz es transmitida de una persona a otra mediante huevos que la lombriz hembra pone alrededor de la apertura anal. El oxiuro hembra sale a través del ano durante la noche para realizar esta operación y su emergencia puede dar lugar a severa picazón, inquietud y pérdida de sueño. Los obreros alemanes en una fábrica de municiones, amontonados en los profundos refugios antiaéreos y gravemente preocupados por los bombardeos aliados, se infectaron con el *Enterobius*, y el malestar y desvelo producidos se hicieron tan graves que se resintió la producción total de municiones. Iniciáronse, por esto, investigaciones especiales para encontrar los medios de combatir el *Enterobius* y sus efectos. Fué también considerable la incidencia de los nematodos en las fuerzas aliadas, especialmente entre ciertas secciones de servicio en el suelo patrio y concentradas en recintos cerrados.

La lombriz de Guinea (*Dracunculus medinensis*) o filaria medinense, que probablemente es idéntica a la «serpiente ardiente» que asoló a los Israelitas al atravesar el Mar Rojo, como nos lo atestigua el Libro de los Números, es un ascárido que infestó un considerable número de individuos de las tropas del Africa Occidental de manera tan grave que tuvieron que ser dados de baja del servicio activo. En el lejano Oriente, las filarias fueron parte en la inhabilitación de las tropas en las que difundieron las dos conocidas enfermedades oncocerciasis y filariasis. Las filarias productoras de la oncocerciasis son transmitidas por moscas de los géneros *Simulium* y *Eusimulium*. Están encerradas en nódulos duros debajo de la piel y en otras partes, pero de ordinario estos nódulos no dan lugar a graves trastornos. Las lombrices de la filariasis, sin embargo, al ser transmitidas al hombre mediante los mosquitos, pueden, después de algunos años, producir la terrible tumefacción y engrosamiento de las extremidades inferiores y de otras partes del cuerpo, que se conoce con el nombre de elefantíasis. Estas lombrices, pues, exigen tratamiento no tanto por incapacitar inmediatamente al soldado, cuanto por tener resultados progresivos lentos, y en las personas infectadas forman depósitos desde los que los mosquitos pueden transmitir la enfermedad a otros. Existe también el riesgo de que las personas infectadas, a su vuelta al país natal, lleven consigo la infección y en consecuencia diseminen la enfermedad en lugares del mundo donde no había existido anteriormente. Esto, desde luego, puede ocurrir tan sólo en regiones en que se hallan presentes las especies de mosquitos capaces de difundir la dolencia.

Se crea un riesgo parecido con la vuelta a su país de personas infectadas de paludismo y de otros parásitos. Los mosquitos capaces de transmitir el paludismo existen en la Gran Bretaña, especialmente a lo largo de la costa oriental de Inglaterra hasta la Isla de Wight; después de la primera guerra mundial la vuelta de tropas infectadas de paludismo ocasionó brotes de la enfermedad en Inglaterra. Legados parecidos de infección palúdica del tiempo de guerra ocurrieron en Holanda y en otras partes de Europa. La repetición de tales brotes después de la segunda guerra mundial, se previno gracias a las enérgicas medidas tomadas.

Las lombrices parásitas llamadas trematodos son, en general, menos perjudiciales para la tropa, pero los trematodos chupadores de sangre, cuyas larvas se desarrollan en caracoles de agua e infectan al hombre bien por la boca o penetrando por la piel, pueden causar mucha preocupación a los jefes militares. Se hace indispensable recomendar a los hombres que no beban, se laven y ni aun se afeiten empleando agua que se tema esté contaminada con crías de trematodos, a no ser que previamente haya sido hervida o tratada con substancias químicas capaces de matar los parásitos. Las especiales precauciones acrecientan el trabajo de las autoridades militares.

Todos los animales parásitos hasta ahora considerados pertenecen a especies que viven dentro del cuerpo humano y son causa de las enfermedades mencionadas. Quedan aún por considerar dos especies de parásitos que sin originar por sí mismos enfermedad alguna, transmiten dolencias capaces de reducir los ejércitos a la impotencia. Estos son el piojo humano que transmite al hombre el gérmen del tifus epidémico o fiebre de las cárceles, y la larva del ácaro que inocula la causa de la fiebre tífica. Ambos, tifus epidémico y fiebre tífica, son causados no por los piojos o ácaros que los transmiten, sino por organismos comprendidos entre las bacterias y los virus y que pertenecen al género *Rickettsia*. Ambas dolencias pertenecen al grupo de fiebres tíficas causadas por el *Rickettsia* y no hay que confundirlo con el grupo de fiebres tifoideas originadas por bacterias.

El tifus epidémico ha sido siempre un azote de la humanidad. Probablemente algunas de las pestilencias de que se hace mención en los tiempos antiguos fueron tifus epidémicos que atacan a las

gentes cuando la salud pública se halla debilitada por el hambre o por las emigraciones en masa a consecuencia de trastornos políticos o de guerras. Era preponderante en las prisiones mal cuidadas o insalubres, y por ello se le conoció también con el nombre de fiebre de las prisiones. La historia de la guerra abunda en referencias al mismo. Conviene distinguirlo de la fiebre tífica endémica, que es una enfermedad parecida pero más benigna, debida a distintas especies de *Rickettsia*. El tifus endémico está circunscrito a ciertas regiones del globo y pasa de las ratas al hombre por medio de las pulgas y piojos de estos roedores. Por lo mismo que las pulgas de la rata transmiten la causa del tifus endémico, esta enfermedad no se extiende de un hombre a otro y por consiguiente queda descartado que se convierta en epidemia.

El tifus epidémico, por otra parte, se transmite de una persona a otra por medio de los piojos de la cabeza y del cuerpo (*Pediculus humanus*), y por esta razón puede extenderse rápidamente a gran número de gentes. Atacó a soldados españoles en la conquista de Granada, e invadió toda la Europa Central en el siglo XVII durante la Guerra de los Treinta Años, habiendo sido una característica de la mayoría de las guerras europeas. Una de las graves epidemias modernas se inició en Servia en 1915. Cuando la epidemia estaba en su apogeo de gravedad, ingresaban a diario en los hospitales militares más de 2500 individuos, y además se certificó un número tres veces mayor entre el paisanaje. Murieron de 30 a 70% de las personas infectadas, y en seis meses calculáronse en más de 150 000 las defunciones. Polonia fué también en este tiempo un foco de la enfermedad. En 1918 después de la guerra hizo su aparición en Rumanía una grave epidemia, causando 800 000 defunciones, y luego en Rusia donde entre 1919 y 1922 hubo unos cinco millones de infectados.

Cuando los italianos atacaron Abisinia se beneficiaron grandemente del hecho de estar libres de piojos, al paso que los abisinios no lo estaban. El tifus, por tanto, no hizo su aparición en el ejército italiano, mientras que los abisinios en 1935 tuvieron cerca de 20 000 casos. Durante la guerra de 1939–45, la epidemia tífica estalló en Nápoles cuando los alemanes fueron arrojados de esta parte de Italia. La salud de la población italiana se había deteriorado por la mala alimentación y la destrucción por parte de los alemanes de los servicios sanitarios y de los depósitos y conducciones de aguas, por lo que fácilmente fueron víctimas de la enfermedad. El uso enérgico de pyrethrum y D.D.T., cuyos efectos por aquel entonces acababan de descubrirse, destruyó los piojos y contuvo la invasión de la enfermedad. Se demostró, pues, que este compuesto, cuyas propiedades insecticidas habían permanecido ignoradas durante tantos años, iba a ser un medio de librar de una de sus más devastadoras amenazas a las colectividades humanas de todas clases.

La fiebre tífica, conocida también por «tifus de los ácaros» (porque con este nombre se le distingue del tifus epidémico acarreado por la pulga) es una enfermedad del Japón, Burma y países colindantes. Es originada por una especie de *Rickettsia* transmitida al hombre por las larvas de ciertos ácaros, afines del *Trombicula autumnalis* que tanto incomoda a la gente en algunas regiones de Inglaterra y de otras partes. Se remonta a mil años o más el conocimiento de esta enfermedad, y ha recibido variados nombres; entre ellos los de enfermedad de «tsutsugamushi», fiebre de los ríos del Japón, fiebre tífica y fiebre de los ácaros. Las ratas caseras y campestres, y probablemente otros animales, son depósitos de *Rickettsias*, desde los que luego los ácaros los inoculan en el hombre. Durante la guerra reciente esta enfermedad constituyó una amenaza tan grave para las tropas en Burma que se dió alta prioridad a los esfuerzos para controlarla. Con objeto de preparar una vacuna contra esta dolencia, se transportaron por avión ratas del algodón desde América a Inglaterra y se edificó un laboratorio con gran lujo de detalles, en un tiempo mínimo, para acomodar el equipo de hombres de ciencia que debían elaborar la vacuna. Este brillante equipo de individuos que arriesgaron la vida — dos de ellos sucumbieron — en la realización de una parte del trabajo que fué una de las proezas más culminantes de la guerra, acababa de producir la vacuna al tiempo de capitular los japoneses. Mientras tanto, los australianos, empleando seres humanos voluntarios para sus trabajos, descubrieron que el ftalato de butilo era un medio eficaz de matar los ácaros que diseminan la causa de la enfermedad. Restregando con la preparación los calcetines, tobilleras de lona, polainas, pantalones y camisas se destruían los piojos; de este modo vióse reducida de un 36 a 1‰ la incidencia del tifus acárido en Nueva Guinea.

El cultivo de las algas

E. G. PRINGSHEIM

Progresos recientes en la técnica del cultivo sistemático de las algas, aislamiento mecánico de la especie elegida y su transplante al medio de cultivo. Las algas son material muy conveniente para las investigaciones fisiológicas, el estudio de la fotosíntesis y otros problemas generales, además de constituir una materia alimenticia muy importante para los peces y otros animales. Necesidad del establecimiento de un laboratorio de base internacional para la continuación de las investigaciones.

El cultivo de las algas se remonta a unos setenta años atrás. No fué una contribución individual a la botánica, sino que fueron varios los orígenes de su desarrollo. La observación de material conservado en el laboratorio sin especiales artificios, el uso de soluciones nutritivas, como las empleadas en el estudio de las plantas, y la aplicación de los métodos de la bacteriología, todo ello contribuyó en la evolución de una técnica para conseguir el sano crecimiento de las algas en condiciones artificiales.

La medida más importante fué el aislamiento de las especies que debían cultivarse, culminando con la eliminación de todo otro organismo, de manera que resultaran cultivos puros. Este aislamiento es de gran valor por cuanto nos lleva más cerca del control absoluto de las condiciones. Los cultivos puros, no obstante, ni constituyen una finalidad en sí mismos, ni son siempre necesarios para alcanzar resultados valiosos. Con objeto de sacar todo el beneficio posible, debiéronse emplear medios sintéticos absolutamente definidos, y seguir, con la ayuda de métodos analíticos, sus alteraciones en relación con el metabolismo de las algas en proceso de crecimiento.

Los métodos, imitando los ya empleados con éxito en las bacterias y los hongos, combinaron en una sola manipulación el aprovisionamiento de alimentos y la separación de los individuos, mediante el empleo de un medio nutritivo de agar, de modo que tales individuos pudieran multiplicarse para formar colonias homogéneas. El aislamiento de las algas, sin embargo, no es tan fácil como el de la mayoría de las bacterias y levaduras. En el material utilizado para inoculación, el número de algas es mucho menor que el de los organismos contaminantes y el agar usado para fijar las algas aisladas y para separarlas de las demás favorece también estos contaminantes. Muchas son capaces de extenderse sobre el substrato con lo que, con frecuencia entorpecen los esfuerzos para el aislamiento.

Se hizo, por lo tanto, necesario dividir la manipulación en dos etapas: aislamiento mecánico, y luego el traslado a condiciones favorables para la multiplicación. Mientras anteriormente se aislaban las algas que crecían mejor en el medio — y únicamente al predominar una especie desde el principio, era posible proceder con más deliberación — en la actualidad empezamos por seleccionar al microscopio la especie que intentamos cultivar y la trasladamos a un flúido estéril. En la mayoría de los casos, la mejor manera de aislar las algas es por succión en un tubo capilar del cual luego salen mediante la presión de un tapón de caucho.

La plena ventaja de esta separación mecánica se consigue, desde luego, únicamente si se pone a los individuos aislados en condiciones adecuadas para la multiplicación, y para este objeto se necesita un pequeño estudio sobre sus requerimientos ecológicos. Las especies que proceden de lagos y de otras aguas con una concentración pequeña de substancias nutritivas, crecen mejor en soluciones muy diluídas de sales inorgánicas que contengan todos los elementos químicos esenciales. Las provenientes de aguas someras y más o menos contaminadas, reclaman una cantidad mayor de substancias nutritivas que la que es posible disolver en un medio acuoso. En el medio ambiente natural de tales algas, estas substancias las suministran principalmente los depósitos subyacentes de cieno. En los cultivos pueden ser proporcionadas con la adición de un poco de tierra vegetal para reemplazar las substancias parcialmente orgánicas contenidas en el lodo. La calefacción previa destruye los gérmenes rivales que pululan en toda tierra vegetal, por lo que no es de recomendar el autoclave, puesto que deteriora grandemente la adaptabilidad para el crecimiento.

El resultado de tales experimentos de cultivo, si tienen éxito, es un abundante y sano material homogéneo de algas del que se pueden derivar

nuevos cultivos, libres de otros organismos. No estamos todavía en situación de satisfacer en el cultivo puro las exigencias de cada una de las especies de algas con respecto a los requerimientos de *p*H, elementos químicos y vitaminas. Hay muchas especies que medran en cultivos de tierra cenagosa, pero hasta ahora no pueden cultivarse en medios libres de bacterias, por lo que nos encontramos tan sólo en los comienzos de un desenvolvimiento todavía más amplio.

En la naturaleza se hallan siempre mezcladas las comunidades biológicas y esto hace inevitable la acción recíproca de los varios organismos. Por lo tanto, nunca será posible delinear un cuadro ecológico, concentrándose en un número restringido de grupos taxonómicos, por ejemplo: las bacterias y los hongos, dejando al margen las algas y los protozoos. Es precisamente a causa de esta necesidad de llenar los huecos, con objeto de acercarnos más a una real microbiología general basada en el conocimiento ecológico, que los métodos de las algas (y también de los flagelados y ciliados) deben mejorarse todavía.

El programa de investigación del cultivo de las algas es teórico a la vez que práctico. Indicaremos alguna de sus tareas. Unas son problemas generales que pueden atacarse mejor empleando algas, y otras son problemas relacionados específicamente con las algas.

El material de cultivo de algas, se ha empleado extensamente antes de ahora en Gran Bretaña para finalidades didácticas. Constantemente se tienen en existencia y en buen estado las especies requeridas de ordinario. Las universidades y escuelas pronto aprovecharon la ventaja de disponer, con corto preaviso, de la mayoría de las formas que necesitaban.

Un ejemplo importantísimo de investigación lo tenemos en el empleo de algas en el estudio de la fotosíntesis, que es un campo de primordial importancia porque el sistema clorofílico de las plantas es prácticamente el único mecanismo que suministra las substancias orgánicas esenciales a la vida. Por fin, también los químicos y físicos se han unido a los fisiólogos en la investigación de la fotosíntesis y el progreso alcanzado es ya inmenso. Las algas son los objetos preferidos para este trabajo ya que proporcionan un material celular homogéneo y de fácil manipulación. Además, no sólo son las algas más apropiadas para ciertas finalidades que otras plantas verdes, sino que la fotosíntesis peculiar de algunas algas cautiva la atención de los fisiólogos. Mientras el sistema pigmentario de la mayoría de las algas verdes es el mismo que el de las plantas con flor, helechos y musgos, existen también grupos con pigmentos diferentes, las algas rojas y pardas, por ejemplo. Los resultados obtenidos con estos varios grupos presentan diferencias de comportamiento que arrojan nueva luz sobre los problemas básicos.

Para investigar estos pigmentos y sus propiedades fisiológicas, hasta muy recientemente hubo que confiar en la natural y fortuíta producción en masa. La recolección no era tarea fácil y la mezcla de otras algas con pigmentación diferente resultaba inevitable. Los cultivos en masa, primero de modestas dimensiones, y en la actualidad en una escala enorme, son la respuesta a esas dificultades. Los cultivos podrán asimismo proporcionar otros contenidos en las células de las algas — por ejemplo, aceites raros (posiblemente preciosos), azúcares poco conocidos, polisacáridos y nuevas vitaminas. Los más optimistas esperan incluso una valiosa contribución a nuestros recursos alimenticios, y creen que tales proyectos pronto podrán ser practicables y económicos.

Al comparar la cantidad de substancias orgánicas fotosintetizadas por la producción tradicional y por las algas respectivamente y dejando aparte su valor como alimento para el hombre y el ganado, se llega a cifras del mismo orden y magnitud. En ambos casos se utiliza sólo el 1% de la energía luminosa, de manera que el margen para el mejoramiento es considerable.

En todo caso la producción está generalmente limitada no tanto por la naturaleza íntima del sistema fotosintético cuanto por los factores externos. Parece que un clima más cálido y soleado que el de la Gran Bretaña, como el que gozan las Indias Occidentales, debe de ser esencial para el éxito. Por otra parte, la fertilización con el dióxido de carbono, de la que cabe esperar mucho, es factible únicamente en comarcas industriales donde este gas se produce en exceso de otras necesidades. La iluminación artificial, en las condiciones técnicas presentes, está restringida a finalidades experimentales.

Con objeto de hacer realmente factible la producción de grandes cantidades de pequeñas algas, se necesita un mayor conocimiento de sus requerimientos nutricionales con vistas a una multiplicación profusa; esto podría entonces servir para aplicar una técnica mejorada en una escala creciente. Las substancias químicas que son útiles y bastante baratas para experimentos de cierta envergadura quizás no sean obtenibles en cantidad suficiente para cultivos en masa, y los productos impuros pueden ser tóxicos. Es seguro que

se presentarán muchas dificultades imprevistas si no se ha emprendido un adecuado estudio preparatorio.

Las dificultades posibles de preveer son: invasión por otros organismos, obstáculos a la preservación prolongada de las algas cultivadas en condiciones sanas de crecimiento, recolección eficiente y selección de las formas de algas más apropiadas. Esto último depende en mucho de lo que se espera de la recolección de algas.

Es evidente que las mezclas nutritivas de sales inorgánicas empleadas de ordinario no son suficientes en todos los casos para mantener un crecimiento continuo, de suerte que se hacen indispensables también ciertos productos químicos adicionales en muy pequeñas concentraciones. No resulta fácil proporcionarlos en concentraciones óptimas, que se hallan afectadas por precipitación mutua, por la pérdida en el metabolismo algal y por los cambios de *p*H relacionados con él. Además, el valor máximo de multiplicación no puede, en muchos casos, obtenerse en condiciones de control en las soluciones inorgánicas, debido a la síntesis lenta de los indispensables compuestos orgánicos en la célula del alga. El valor de crecimiento se ve muy acrecentado con la adición de las substancias que llamamos factores de crecimiento.

En la naturaleza estos factores de crecimiento son producidos por otros organismos, y desempeñan un papel importante en la afinidad mutua entre los miembros de una comunidad ecológica. La súbita aparición o desaparición de un organismo parece con frecuencia causada por una alteración en el equilibrio entre los miembros de una comunidad. Es posible demostrar experimentalmente que las substancias producidas por bacterias y hongos favorecen el crecimiento de ciertas algas. En otros casos la influencia es deletérea, bien a causa de rivalidad por las substancias nutritivas, bien por la producción de compuestos tóxicos o antibióticos. Se pone todavía en tela de juicio si las algas por sí mismas producen antibióticos. Con todo se conoce el caso de ciertas *Myxophyceae* y *Cryptomonadineae* que contienen substancias ponzoñosas.

Es frecuente que un organismo ejerza una influencia favorable sobre otro en la producción de substancias nutritivas; un organismo puede carecer de la enzima para desintegrar una molécula en compuestos capaces de proporcionarle alimento. La descomposición de proteínas se halla en la naturaleza dividida generalmente en fases consecutivas en las que intervienen varios microorganismos. A menudo las algas se benefician de uno de los productos intermedios, y puede suceder que se multipliquen súbitamente de un modo sorprendente cuando se suministran tales substancias. Análogamente, los polisacáridos son descompuestos, en especial anaeróbicamente, en los sedimentos del fondo de las aguas tranquilas, dando lugar a substancias que favorecen el desarrollo de muchas algas. Las hexosas, es decir, los azúcares simples, por lo común no juegan un papel tan importante como el que les atribuyeron los antiguos investigadores. Los ácidos grasos, especialmente el ácido acético, se producen más de ordinario, son más asequibles para las algas y se metabolizan con facilidad.

En la práctica del cultivo, estas algas que han demostrado crecer mejor en presencia de substancias orgánicas, puede hacérselas medrar con la adición de extracto de levadura y mezclas parecidas. En la elucidación de los requerimientos de vitaminas, se depende de azares siempre que no se disponga de medios estrictamente sintéticos. Estos medios deben contener cada ingrediente como una individualidad química conocida, de modo que la solución total sea fácilmente controlada. Tenemos todavía por delante el experimento de la nutrición ideal en la que se sigue minuciosamente la suerte de substancias aisladas dentro y fuera de la célula viviente. Para un trabajo de esta clase, no siempre son suficientes los métodos químicos ordinarios; para completarlos, se dispone en la actualidad de ensayos físico-químicos, por ejemplo, los que emplean isótopos.

Los compuestos químicos orgánicos son generalmente utilizados por especies de algas que se encuentran en lugares ricos en materia putrefacta, como son muchísimos flagelados y otras algas unicelulares. La mayoría de las formas superiores tienen que contar con los compuestos orgánicos que les suministra su propia fotosíntesis. Las diferencias son decisivas con respecto al tipo ecológico de las diferentes algas. Sin embargo, está expuesto a error invertir el razonamiento y sacar conclusiones acerca de las propiedades fisiológicas de las especies a partir del estado y lugar donde fueron encontradas. Las algas que viven en aguas sucias pueden todavía ser incapaces de utilizar las substancias orgánicas que están fácilmente a su alcance. Sólo experimentos de cultivo pueden decidir el resultado. Aun siendo una especie decididamente favorecida por ciertos compuestos orgánicos, no es necesario que esto lo cause su utilización, especialmente si no están excluídos otros organisamos. Así al *Polytoma* y *Polytomella* se

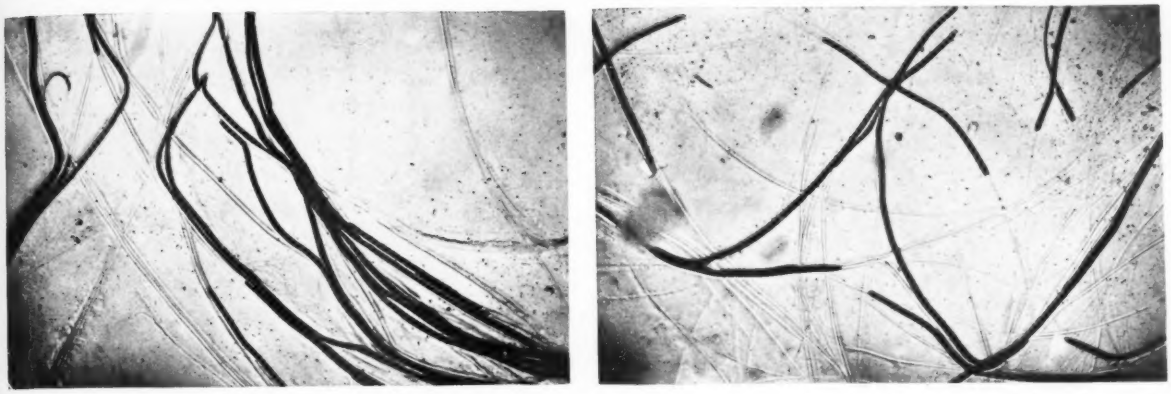


FIGURA 1 – Phormidium *spec.* (*Myxophyceae*) *en cultivo puro sobre agar; se ven huellas de tricomas en movimiento* (× 100).

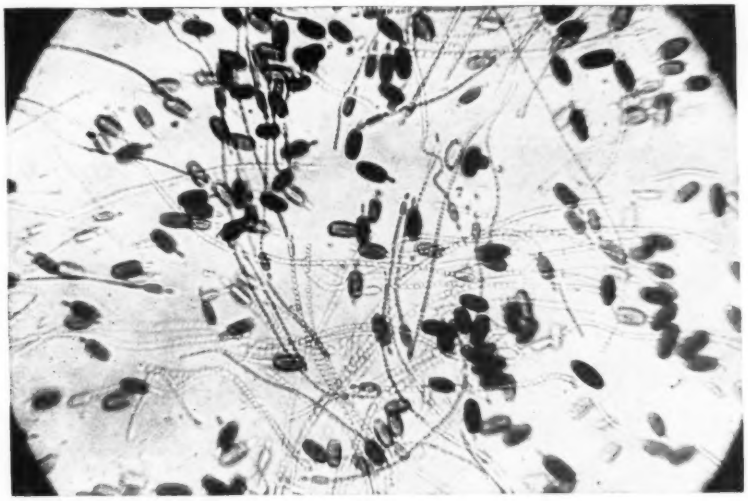


FIGURA 2 – Cylindrospermum *spec.* (*Myxophyceae*) *con esporas sobre agar* (× 100).

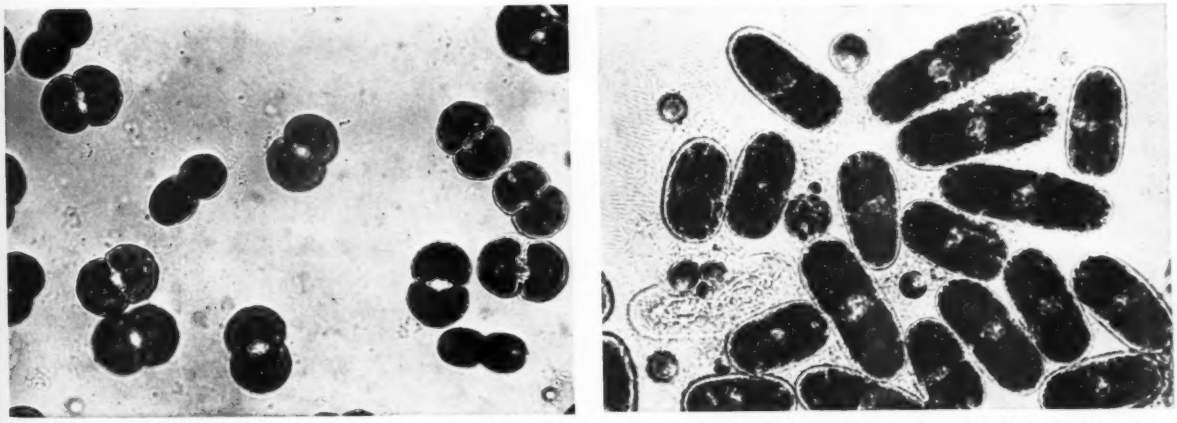
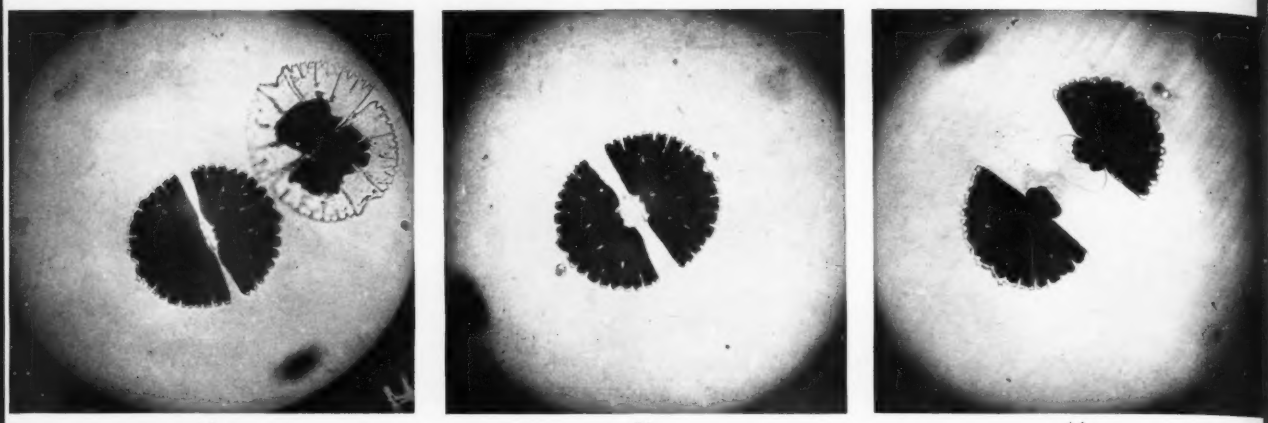
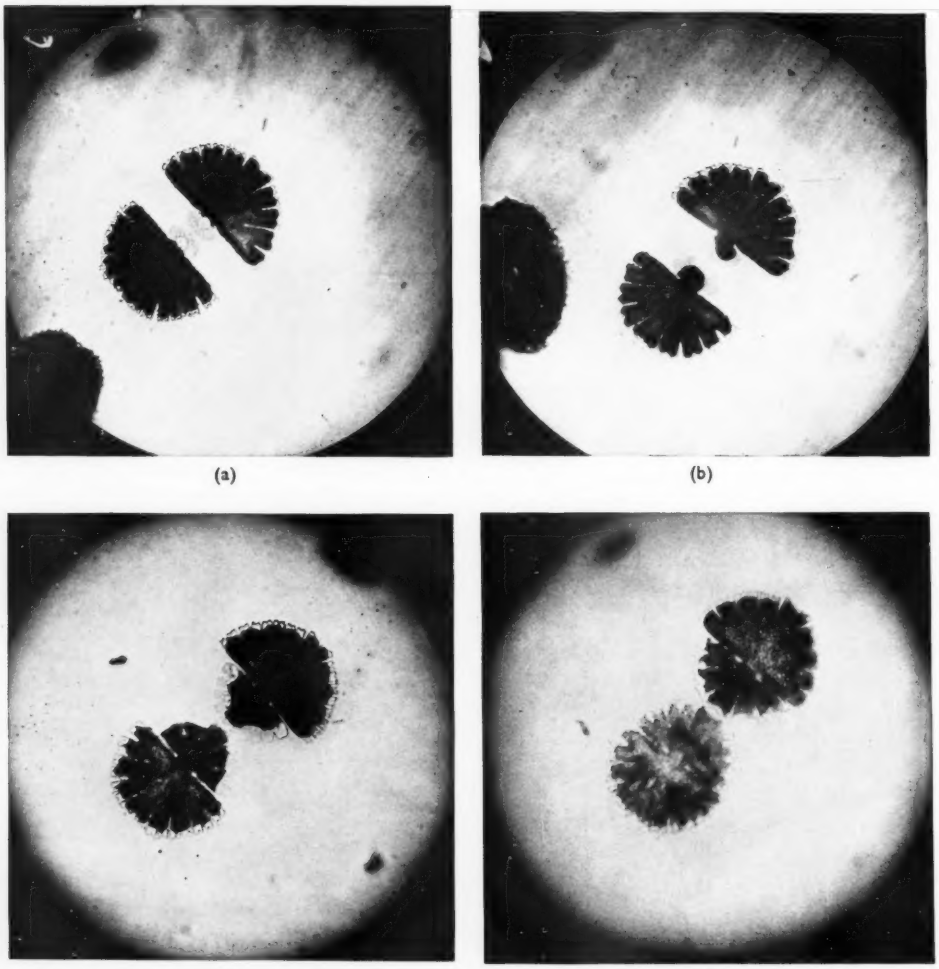


FIGURA 3 (*Izquierda*) – Cosmarium laeve (*Desmidiaceae*) (× 300) *y* (*derecha*) Cylindrocystis Braunii (*Mesotaeniaceae*) *en cultivo puro sobre agar* (× 300).



(a) (b) (c)

FIGURA 4 (a–c) – Micrasterias rotata (*Desmidiaceae*); *tres fases de división celular; material de cultivo;* (a) *a las* 17,03 *horas,* (b) *a las* 18,11 *horas y* (c) *a las* 20,03 *horas* (× 100).



(a) (b) (c) (d)

FIGURA 5 (a–d) – Micrasterias denticulata (*Desmidiaceae*); *cuatro fases de división celular; material de cultivo;* (a) *a las* 10,03 *horas,* (b) *a las* 10,50 *horas,* (c) *a las* 12,12 *horas y* (d) *a las* 14,08 *horas* (× 100).

les creyó en otro tiempo que eran azúcar-flagelados, pero de hecho viven de ácidos grasos.

Las algas constituyen con frecuencia el principal alimento de algunos animales y de sus larvas. Un conocimiento mayor de sus condiciones de vida y del modo como éstos las ingieren y consumen, es asunto de urgencia en los esfuerzos para producir más alimento en los ríos, lagos y el mar. Está ya demostrado, después de grandes experimentos en Bohemia y Francia, que la productividad de los criaderos de peces puede mejorarse substancialmente con la adición de fertilizantes, pero que el procedimiento debe ser cuidadosamente vigilado y adaptado a la clase de peces que se desee criar. Por otro lado las algas son capaces de ocasionar serios inconvenientes en las conducciones de aguas, en los pequeños criaderos y aun en las tierras de las huertas en explotación comercial y sobre las paredes de las casas de tal manera que se hace indispensable el empleo de algicidas.

Una posibilidad más reciente es el uso de algas como elementos de ensayo para vitaminas y otras investigaciones farmacológicas, o también como alimento de animales empleados para dicho objeto.

Durante las últimas décadas se ha hecho más evidente que las descripciones de muchas algas estaban cimentadas en bases muy inseguras. No acontece esto en cada grupo, pero se dan varias familias desde las más sencillas hasta las más complicadas, y ambos casos son de incidencia común, en donde el grado de variabilidad no puede estimarse con exactitud sin los experimentos de cultivo. Las diferencias en dos ejemplares de material de la misma alga se deben ya a rasgos hereditarios, ya a modificación causada por las condiciones de la región en donde viven. Si la población total se ha modificado de igual modo, se las puede tomar equivocadamente por una diferente unidad taxonómica. Esto ha ocurrido a menudo con individuos de la familia de las *Euglenineas*. En muchas clorococáceas la formación de colonias ha sido tomada como una característica de géneros y aun de especies. No se puede considerar la formación de colonias como una característica taxonómica. No bastan la estructura celular y la reproducción para diferenciar las muchas especies de clorococáceas. Sucede, no obstante, que las mismas especies aparecen como células aisladas, como colonias de 4 a 16 células o como colonias compuestas que comprenden muchos de tales grupos en una disposición más o menos regular. Además, sólo los experimentos de cultivo pueden decidir qué formas pertenecen a una especie, y en qué condiciones las células permanecen unidas después de la división. Es muy posible, por ejemplo, que ciertas especies de *Ankistrodesmus*, *Quadrigula* y *Tetradesmus* sean todas la misma, si bien por el momento agrupadas en diferentes familias. Entre las algas de organización superior, la *Cladophora* con sus muchas especies e innumerables variedades y formas, es un ejemplo de la insuficiencia de las investigaciones morfológicas para resolver los problemas taxonómicos. Si no podemos reconocer las especies, es inútil, desde luego, atribuirles propiedades fisiológicas y ecológicas definidas.

Considerando que la investigación de los cultivos es muy útil desde un principio para describir más a fondo las especies y determinar su alcance de modificación, no dudamos que muy pronto se hablará más sobre la genética de las algas. A pesar de los interesantes comienzos, aún no se ha trazado una bien organizada línea de acceso.

Para la mayoría de las investigaciones arriba mencionadas se precisan laboratorios adecuadamente equipados donde con regularidad se mantengan los cultivos de las algas. Existen colecciones en Ginebra, Basilea y Cambridge (Inglaterra), y en más pequeña escala en París, Praga y Upsala y en varios laboratorios americanos, la mayoría de ellas utilizadas solamente por especialistas para sus propios trabajos. Ninguna tiene un porvenir asegurado, a excepción, hasta cierto punto, de la de Cambridge que está bajo los auspicios de su universidad. Con todo tiene una grande importancia la preservación de las estirpes empleadas en investigaciones normales para nuevas comparaciones y estudios.

Por estas razones hace falta la cooperación internacional para establecer por lo menos un laboratorio de ficología experimental especialmente construído y equipado, que sea como un centro del que irradien las variadas líneas de investigación y de consulta, y a la vez una fuente de cultivos. Debe estar también dispuesto a proporcionar información a los investigadores. Quien esto escribe, por su vasta correspondencia, conoce muy bien la necesidad de un centro semejante. Su papel no puede desempeñarlo satisfactoriamente una cualquiera de las estaciones que en la actualidad se dedican al estudio de las algas, debido a sus estrechas limitaciones en medios y alcances, mientras que los fisiólogos, bioquímicos y otros no pueden pretender a familiarizarse lo bastante con las algas y pequeños organismos afines sin experta asistencia. Esta discrepancia está llamada a acrecentarse en lo futuro, y por esto ha llegado el momento para este progreso.

El desarrollo de la enzimología

P. F. FLEURY y J. E. COURTOIS

Estudio de trabajos enzimológicos anteriores y definición del concepto moderno de enzima (holoenzima = apoenzima + coenzima). Breve mención de los métodos de purificación. Estudio de los ensayos para definir la constitución química. Lista de los constituyentes vitamínicos de las enzimas y consideración del papel que éstas representan en el metabolismo y la quimioterapia. El cambio patológico en la actividad enzimática es un indicador muy útil en diversas enfermedades.

Las reacciones de fermentación han sido utilizadas empíricamente desde tiempo inmemorial y no hay raza ni nación que no haya aplicado las fermentaciones alcohólicas o lácticas a la preparación de bebidas o alimentos. La investigación sobre las reacciones de enzimas empezó durante el siglo XVIII, cuando Réaumur y más tarde Spallanzani, observaron que los jugos gástricos disolvían la carne. En 1814, Kirchhoff indicó que las semillas germinadas de cebada contenían una substancia capaz de convertir en azúcares no sólo los almidones de los mismos granos sino también una cierta cantidad añadida.

La separación de esta substancia, la amilasa — y el descubrimiento de la primera enzima — se debió a Payen y Persoz.

El 17 de Junio de 1833, presentaron (a través de J. B. Dumas como intermediario) una comunicación a la *Académie Royale des Sciences*. Anunciaron haber separado del malta «una substancia sólida, blanca, amorfa, insoluble en alcohol pero soluble en agua y alcohol diluído. Calentada a 56–70° con granos de almidón posee el notable poder de separar rápidamente la cubierta de la substancia interior transformada, la dextrina. . . . Esta propiedad particular de separación nos ha inducido a dar a la substancia que la posee el nombre de diastasa, que expresa exactamente este hecho».[1]

La memoria original de Payen y Persoz menciona algunas propiedades de la diastasa que, más tarde, se observó eran características fundamentales de las enzimas: (*a*) la termolabilidad — «Si la solución de diastasa se calienta hasta la ebullición pierde su poder de actuar sobre el almidón y la dextrina»; (*b*) la considerable desproporción entre la cantidad de enzima introducida y la del substrato transformado, «Cuando la extracción de este nuevo principio inmediato se hace cuidadosamente su actividad es tal que una parte en peso es suficiente para hacer soluble en agua caliente el contenido de 2000 partes de granos secos de almidón y transformar la dextrina en azúcar»; (*c*) la posibilidad de purificar la diastasa por precipitación con alcohol de su solución acuosa. Hasta fines del siglo pasado esta precipitación permaneció como el método principal de purificación de las enzimas.

Entre el descubrimiento de Payen y Persoz y el tiempo presente podemos distinguir tres períodos principales en el desarrollo de los conocimientos sobre las enzimas: el período durante el cual se formó y definió la noción de enzima, el período de generalización y el de la considerable expansión correspondiente a los últimos veinte años.

FORMACION DE LA NOCION DE ENZIMA (1833–94)

Desde 1835 varios investigadores observaron la existencia de otros productos con los caracteres de la diastasa, pero que actuaban sobre substancias distintas; así la pepsina, emulsina, mirosina, tripsina, lipasa, sucrasa y ureasa, fueron descubiertas sucesivamente. En 1877, Duclaux publicó un artículo titulado *Action des diastases ou ferments solubles*. En una docena de páginas Duclaux coordinó los conocimientos de su tiempo sobre la materia, y su artículo puede considerarse como la base de la ciencia de enzimología.

GENERALIZACION DE LA NOCION DE ENZIMA (1894–1926)

Todas las enzimas descubiertas en este período fueron hidrolasas, esto es, enzimas que descomponen el substrato por hidrólisis uniéndose los grupos H y OH del agua a los extremos de un enlace de valencia roto. Así, constituyó un importante progreso cuando en 1894 E. Bourquelot y G. Bertrand descubrieron una nueva clase de enzimas, las oxidasas, capaces de añadir al substrato oxígeno en vez de agua.

[1] De la palabra griega *diastasis* que significa separación.

El estudio de las oxidasas condujo a G. Bertrand a sugerir el primer concepto sobre la constitución de las enzimas, concepto que, ligeramente modificado, es hoy universalmente aceptado. Este es como sigue: la enzima completa u holoenzima es el resultado de la unión de dos fracciones cuando menos:

(*a*) La apoenzima, que es siempre una proteína; es coloidal y termolábil.

(*b*) La coenzima, de constitución química variable; es frecuentemente un éster fosfórico y a veces un derivado metálico; a menudo la coenzima, que no es coloidal, es bastante termoestable.

El descubrimiento de una enzima no hidrolizante fué seguido inmediatamente por el de otras enzimas distintas de las hidrolasas. Buchner, en 1897, obtuvo, comprimiendo levadura, un líquido que convertía la glucosa en bióxido de carbono y alcohol etílico; esta preparación, la zimasa, tenía el carácter de una enzima y además, catalizaba una reacción que nunca había tenido lugar anteriormente, excepto por células vivas de levadura.

En 1902, Schärdinger describió la primera dehidrogenasa. Esta enzima, presente en la leche, desplaza el hidrógeno del agua, el cual puede ser fijado por el azul de metileno que se reduce a su leucobase incolora. Hacia el mismo tiempo, Neuberg descubrió la carboxilasa que convierte el ácido pirúvico en acetaldehido y anhídrido carbónico. Todas las enzimas hasta entonces aisladas catalizaban solamente reacciones de degradación; pero entre 1900 y 1912 se comprobó, después de muchas tentativas, que era posible catalizar enzimáticamente varias reacciones de condensación. Las investigaciones fueron encaminadas principalmente a la biosíntesis de holósidos y heterósidos, y fueron llevadas a cabo por Croft-Hill, Bayliss y Armstrong, Bourquelot, Hérissey y Bridel, y otros. Finalmente en 1906 Harden y Young realizaron un descubrimiento fundamental al observar que en una fermentación alcohólica el azúcar se transforma en un éster difosfórico de fructosa. La separación de los compuestos intermedios de glicólisis y las investigaciones realizadas al mismo tiempo por Hopkins sobre el ácido láctico y la contracción muscular, constituyen los comienzos de aquellos estudios sobre metabolismo intermediario que tan fructíferamente se desarrollaron en la Gran Bretaña.

DESARROLLO DE LA QUIMICA DE LAS ENZIMAS (1926–50)

En 1926, James Sumner descubrió la separación de la ureasa en el estado cristalino. La harina de las judías Jack se extrae con agua y la solución se trata con acetona; al enfriarse se depositan los cristales cuya actividad ureásica no se modifica apreciablemente con sucesivas cristalizaciones. Estos cristales de ureasa se parecen a las globulinas en composición y propiedades generales. Este importante descubrimiento fué el primer paso en una larga serie de investigaciones que rindieron importante información sobre la estructura química de numerosas enzimas.

PURIFICACION DE LAS ENZIMAS

Las holoenzimas poseen el carácter de proteínas y así la enzimología se ha beneficiado mucho con los progresos realizados en la purificación de las proteínas. Los principales métodos corrientes de purificación consisten en la precipitación fraccionada con sales (por ejemplo sulfato amónico, sódico y de magnesio, fosfatos alcalinos); precipitación con disolventes orgánicos miscibles en agua (alcohol metílico, acetona, dioxan); y adsorción (por ejemplo con alúmina) y levigación. A estos pueden añadirse métodos físicos, por ejemplo, diálisis bajo diferentes condiciones, particularmente electrodiálisis; ultrafiltración y electroforesis diferencial. Debe notarse que estos métodos producen preparaciones muy activas pero no necesariamente holoenzimas puras en el sentido químico. Las preparaciones más activas obtenidas, incluso cristalinas, contienen casi siempre una fracción asociada desprovista de actividad enzimática.

La separación de las enzimas de propiedades específicas muy diferentes es relativamente fácil — un ejemplo clásico es el de las enzimas del jugo pancreático: proteasa, amilasa y lipasa. Por el contrario, es muy difícil y a veces casi imposible separar enzimas de propiedades específicas muy parecidas como las glucidasas de las almendras y las fosfatasas de las semillas (J. Courtois). Ciertamente, las enzimas que transforman substratos de constitución química semejante tienen en común numerosos caracteres físico-químicos que hacen su separación muy difícil sin desnaturalizar la apoenzima proteínica. La consecuencia más fértil de la obtención de las enzimas en un alto grado de pureza ha sido la posibilidad de dilucidar la estructura química de las diferentes coenzimas.

CONSTITUCION QUIMICA DE LAS COENZIMAS

Es posible, por medio del análisis, separar de la zimasa de Buchner una substancia termoestable, la cozimasa, que es la coenzima de numerosas

dehidrogenasas. Después de 1920, Von Euler y Myrbäck se esforzaron en purificar esta coenzima y hacia 1930 demostraron que es un nucleótido que contiene adenina. En 1934, Von Euler por una parte y Warburg y Christian por otra, aislaron la nicotinamida de las coenzimas de las dehidrogenasas y poco después los bioquímicos identificaron esta substancia con la vitamina PP (preventiva de la pelagra).

En el mismo año, Theorell demostró que la enzima amarilla dehidrogenante de la levadura puede separarse por diálisis en apoenzima y coenzima. La enzima amarilla puede reconstituirse por reunión de estas dos fracciones, pero la coenzima se identificó con el éster fosfórico de la riboflavina, la vitamina B_2, lo que es un hecho de esencial importancia. Por vez primera quedó establecida una conexión entre las enzimas y las vitaminas.

En 1935, Lohmann y Schuster demostraron que la cocarboxilasa es un éster fosfórico de la vitamina B_1; este hecho confirmó el trabajo de Peters y sus colegas en Oxford, que habían ya demostrado que la vitamina B_1 intervenía en el metabolismo del ácido pirúvico. En la tabla damos una lista de vitaminas que forman parte de ciertas enzimas; puede observarse que en ciertos casos las holoenzimas de distintas características específicas poseen la misma coenzima. La codehidrogenasa I (cozimasa) es la coenzima de un número de dehidrogenasas distintas actuando respectivamente sobre el aldehído difosfoglicérico, los ácidos láctico, málico, α-glicerofosfórico, β-hidroxibutírico y fórmico, glucosa, algunos alcoholes acíclicos, etc. Otros hechos similares tienden a demostrar que en una reacción diastática la apoenzima juega una parte esencial, ya que parece guiar las características específicas de la coenzima.

Es de mencionar que en casi todas las coenzimas la vitamina, un metabolito esencial, está unido más o menos directamente al ácido fosfórico. Courtois y Barré supusieron que esta esterificación del radical hidroxilo por el ácido fosfórico tiende a favorecer la unión del metabolito con la apoenzima correspondiente siendo la unión influenciada también por los otros grupos ácidos del ácido fosfórico. Courtois y Barré observaron que la proteína vegetal, conamandina, podía formar compuestos insolubles, hacia un *p*H 3,0–4,0, con numerosos ésteres fosfóricos y los ácidos pirofosfórico y ortofosfórico. Los ésteres de los hidroxicompuestos cíclicos dan las combinaciones más estables.

Un desarrollo muy importante en enzimología es la noción de antimetabolito. En 1940, Woods halló que la sulfonamida *p*-aminofenilo,

$$NH_2\text{-}C_6H_4\text{-}SO_2NH_2$$

posee una acción antagónica a la del ácido *p*-aminobenzoico, $NH_2\text{-}C_6H_4\text{-}CO_2H$. Este ácido *p*-aminobenzoico es un metabolito esencial para el desarrollo de numerosos microorganismos; parece estar combinado en forma de enzimas no bien conocidas todavía.

La sulfonamida, que tiene una estructura química semejante a la de este metabolito, puede desplazarlo de su combinación con la apoenzima y substituirlo para formar un nuevo compuesto sin acción enzimática. El equilibrio entre el metabolito y la sulfonamida antimetabolítica está regulado por la ley de acción de las masas; depende de las concentraciones respectivas de ambas substancias y de la estabilidad de sus combinaciones con la apoenzima común.

Este descubrimiento representa el primer contacto entre la quimioterapia y la enzimología; dió explicación a la acción bacteriostática de las sulfonamidas, asumiendo la formación de combinaciones inactivas que se substituyen por enzimas indispensables al metabolismo bacterial. Durante los últimos años han sido preparados otros metabolitos que poseen una relación química con las vitaminas que actúan como enzimas (ácido sulfopantoténico, piritiamina, etc.). Es probable que algunos de ellos puedan emplearse como terapéuticos y que la quimioterapia reciba así una nueva orientación.

La lista de enzimas de constitución perfectamente conocida no se limita a aquellas cuyas coenzimas contienen vitaminas y que tienen un cierto parecido a los nucleoproteidos. Algunas enzimas muestran claras analogías con los pigmentos respiratorios; la catalasa y la peroxidasa son proteínas de hierro algo parecidas a la hemoglobina. En ellas el hierro está enlazado a un anillo tetrapirrólico conectado a una fracción holoproteida. Los bioquímicos de Cambridge, Keilin, Mann y Tissières, han demostrado que algunas oxidasas son proteínas de cobre parecidas a las hemocianinas, los pigmentos respiratorios de los moluscos y crustáceos.

Finalmente, varios iones metálicos pueden activar ciertas enzimas y esta acción es tanto mayor cuanto más pura es la enzima. De tales enzimas se dice que poseen un constituyente disociable metálico (J. Roche). Parece dudoso que el ión metálico sea la coenzima. Puede actuar bien para favorecer la unión de la enzima y el

CONSTITUYENTES VITAMINICOS DE CIERTAS ENZIMAS

Vitamina revelada en la holoenzima	*Estructura química de la coenzima*	*Holoenzima correspondiente*
B_1 (tiamina)	Éster pirofosfórico de tiamina	Carboxilasa de ácidos α-ketónicos
B_2 (lactoflavina)	Éster ortofosfórico	Enzima amarilla de Warburg
	Éster ortofosfórico enlazado al ácido adenílico en forma de dinucleótido	Segunda enzima amarilla oxidasa ácida *d*-amino oxidasa de xantina hidrasa de fumarato diaforasa aldehído-dehidrasas
B_6 (piridoxina)	Piridoxal fosforilado	Decarboxilasas de diferentes ácidos L-amino transaminasas
	Fosfato de piridoxamina	Transaminasas glutámicas y aspárticas
PP amida del ácido nicotínico ..	Dinucleótido con amida-ribosa-$(PO_3)^n$-ribosa-adenina del ácido nicotínico $n = 2$ codehidrasa I $n = 3$ codehidrasa II	Varias dehidrogenasas de distinta especificidad
Ácido pantoténico	Coenzima A (éster fosfórico ?)	Enzimas de acetilación y conjugación
Inositol	?	Ciertas amilasas (Williams) ausentes en otras amilasas purificadas (Fisher y Bernfeld)
F (ácido pteroilglutámico o fólico) ..	?	Enzimas oxidantes de la torisina en el hígado
H^1 (ácido *p*-aminobenzoico) ..	Péptida ?	Enzimas imperfectamente definidas que toman parte en el metabolismo bacterial intermediario

substrato o bien estabilizar la unión de la apoenzima y la coenzima. Así, el manganeso activa la arginasa, el magnesio la enolasa, y el mismo magnesio (y en menor grado el zinc y el cobalto) las fosfatasas alcalinas. Esta participación de metales en las reacciones enzimáticas proporciona una explicación del papel bioquímico de los oligoelementos, o sea de los elementos normalmente presentes en los tejidos en muy pequeñas cantidades (G. Bertrand).

Los conocimientos adquiridos durante los últimos veinte años no nos deben hacer olvidar que la constitución de varios centenares de enzimas todavía permanece indeterminado.

PAPEL DE LAS ENZIMAS EN EL METABOLISMO INTERMEDIARIO

Durante casi un siglo se creyó que las enzimas operaban independientemente unas de otras, pero un estudio más a fondo del metabolismo intermediario ha demostrado que las reacciones ocurren según una serie de etapas y que en cada una de ellas una nueva enzima tiene su parte. Cada enzima transforma un metabolito que ha aparecido en la etapa anterior producto de otra acción enzimática. Actualmente, el metabolismo intermediario mejor conocido es el de la glucosa (fermentación alcohólica y glicólisis muscular). Durante estos procesos la energía contenida en la molécula de glucosa se degrada progresivamente según una cadena de reacciones sucesivamente catalizadas por la fosforilasa, fosfoglucomutasa, hexokinasa, fosfoferasa, zimohexasa, triosefosfato de isomerasa, una primera dehidrogenasa, isomerasa del ácido fosfoglicérico, enolasa, otra fosfoferasa, una segunda dehidrogenasa y así sucesivamente.

La energía producida en ciertas reacciones

catalizadas por enzimas puede acumularse por cierto tiempo en algunas substancias intermedias tales como los compuestos fosfatados de enlaces rígidos de Lipmann.

Estas complejas reacciones (escisión, isomerización, transferencia) van acompañadas a veces de un proceso de resíntesis. Una de las enzimas mejor conocidas entre las dotadas de poder de síntesis es la fosforilasa de Coris. Cataliza la reacción reversible: *n*-glucosa-1-fosfato $\rightleftarrows$ poliholosida con *n* glucosa + *n* ortofosfato. Con las fosforilasas de orígen animal el poliholosido sintetizado se parece al glicógeno; con las fosforilasas vegetales, localizadas más especialmente en amiloplastos se obtiene una substancia almidonosa. Empleando enzimas del mismo tipo se han obtenido azúcares como la sucrosa por biosíntesis.

Las ferasas catalizan la transferencia de un radical o grupo de un compuesto a otro; son esenciales en el metabolismo intermediario. Hace diez años Braunstein describió la aminoferasa o transaminasa que acarrea reversiblemente el grupo amino desde un ácido α-amino a un ácido α-ketónico. El ciclo ácido tricarboxílico de Krebs es otro ejemplo de estas cadenas de transformaciones. Hasta la actualidad, sin embargo, estamos solamente habituados a fracciones más o menos cortas de diferentes cadenas.

VARIACIONES PATOLOGICAS EN LA ACTIVIDAD DE LAS ENZIMAS

Durante unos diez años la determinación de la actividad de ciertas enzimas ha constituído el trabajo práctico de la biología clínica. Las variaciones patológicas observadas facilitan la diagnosis y un retorno progresivo a un valor normal es una indicación segura de la eficacia de un tratamiento terapéutico.

H. D. Kay, de Reading, demostró que la actividad del suero fosfatasa en un medio alcalino está relacionada con el funcionamiento del esqueleto; los valores normales son mayores en los jóvenes, cuyo esqueleto está aún desarrollándose, que en los adultos. La actividad del suero fosfatasa aumenta notablemente con varias enfermedades de los huesos, por ejemplo, osteitis, raquitismo, osteomalacia, osteosarcoma; su retorno al valor normal es una prueba fehaciente de curación. El suero contiene también, en menores proporciones, una fosfatasa que reacciona en un medio ligeramente ácido y, en el cáncer de la próstata la actividad de esta fosfatasa aumenta considerablemente con metastasis. La curación, total o parcial, del enfermo va acompañada de una reducción progresiva de actividad.

La actividad de diferentes esterasas de suero (tributirinasa, colinesterasa, procainesterasa) está relacionada con el estado del hígado; determinaciones sobre la actividad proporcionan un factor muy útil en la diagnosis de las afecciones hepáticas. Durante la pancreatitis aguda se observa una gran descarga de amilasa en el suero; el exceso de enzima se disipa por la orina, donde puede detectarse. La actividad de la hialuronidasa se relaciona con la fertilización y con ciertos fenómenos de difusión en las membranas mucosas.

CONCLUSIONES

Por más de un siglo los progresos en enzimología han igualado los realizados en otras ramas, quizás más espectaculares, de la bioquímica y biofísica. La enzimología representa en cierto modo el aglutinante que une estas ramas distintas que el progreso de la ciencia y su especialización resultante tienden a separar. No existe prácticamente ningún constituyente que no sea tributario de una enzima o derivado de ella en una forma más o menos directa — incluso el ácido carbónico de la sangre venosa se deshidrata en anhídrido carbónico por la anhidrasa carbónica de los pulmones.

BIBLIOGRAFIA

BALDWIN, E. «Dynamic aspects of Biochemistry». University Press, Cambridge. 1947.

FLEURY, P., y COURTOIS, J. «Les Diastases». Armand Colin, París. 1948.

GREEN, D. E. «Currents in Biochemical Research». Interscience Publishers, Nueva York. 1946.

NORD, F., y WEIDENHAGEN, R. «Handbuch der Enzymologie». 2 vol. Becker y Erler, Leipzig. 1940.

NORD, F., y WERKMAN, G. «Advances in Enzymology». 10 vol. Interscience Publishers, Nueva York. 1941.

ROCHE, J. «Récentes acquisitions sur le rôle des métaux dans la structure et dans l'activité des enzymes à constituant métallique dissociable». Herman, París. 1946.

SCHOENHEIMER, R. «The Dynamic State of Body Constituents». Harvard University Press, Cambridge, Mass. (E.U.). 1942.

SUMNER, J. B., y SOMERS, F. «Chemistry and Methods of Enzymes». Academic Press, Nueva York. 1947.

Los fenómenos de cavitación en los líquidos

E. G. RICHARDSON

Estudio de la cavitación producida al incidir un sólido en un líquido, de la que es caso particular el amaraje de un hidroavión. Condiciones de la cavitación y definición del número de Reynolds. Efectos de la viscosidad del líquido y de la reducción de la presión atmosférica. Similaridad geométrica e hidrodinámica de los experimentos con modelos, y definición del número de Froude. Efectos de la cavitación sobre la eficiencia de la maquinaria hidráulica y hélices marinas; erosión de las aspas de las mismas. Breves notas sobre cavitación a frecuencias ultra-sónicas.

En 1897 publicó Worthington un estudio sobre las salpicaduras que producen las esferas de metal o gotas de agua al caer sobre una superficie acuosa plana [1]; más tarde publicó varias fotografías, tomadas por el método del fogonazo [2], y de las que reproducimos una (figura 1) para ilustrar las características de la entrada a baja velocidad de una esfera sólida en una masa líquida: el líquido se eleva en forma de chorro para formar la salpicadura detrás de la esfera incidente. La cavidad forma como un orificio ahusado, producido por la incidencia de una bola que cae desde 3 m de altura; en la fotografía la bola ha pasado ya fuera del campo de visión que estaba limitado al círculo blanco proyectado en la placa por una luz y una lente colocadas detrás del tanque. El sólido imprime un impulso centripetal al líquido, formándose una cavidad en la que se precipita el aire.

La fuerza que la bola experimenta se debe en parte a la fricción superficial del líquido al moverse éste sobre su superficie hasta el momento en que el líquido comienza a formar la cavidad; y en parte al trabajo realizado al impartir un impulso al líquido cuando el cuerpo incidente se abre camino en aquél. Y si se forma una salpicadura muy marcada también se produce trabajo al impartir un momento vertical a la superficie líquida. En realidad, la mayor parte de dicho momento presenta una dirección horizontal o casi horizontal, lo cual puede comprobarse si dispersamos en el líquido, justo antes de la incidencia de la esfera, una cantidad de diminutas burbujas de aire, de modo que una serie rápida de fotografías superpuestas puede mostrar, por medio de los trazos de las burbujas arrastradas por el líquido, la moción local impartida a éste. Esa es la técnica desarrollada por el Profesor Schlichter, y aparece ilustrada en la figura 2 que presenta una serie de fotografías superpuestas (tomadas con una cámara estroboscópica Egerton) de la entrada de una esfera en el agua, en la que la sucesiva posición de las burbujas muestra la dirección del impulso local impartido al agua.

La importancia práctica de tales fuerzas de impacto quedó manifiesta al caer sobre el mar un pesado hidroplano; aunque tal amaraje es oblícuo y el avión no penetra mucho en el agua, se produce con todo una considerable cavitación que puede originar presiones peligrosas contra los flotadores y el casco. Se investigó la magnitud de dichas fuerzas con modelos pequeños y también a escala normal en la Estación Experimental de Aviación Marítima de la Royal Air Force, Felixstowe, Inglaterra.

El caso particular más arriba descrito arroja cierta luz sobre algunos aspectos del fenómeno que ahora denominamos *cavitación* y que se produce en el límite entre líquidos y sólidos en moción relativa cuando la velocidad alcanza un valor crítico. En un sistema hidrodinámico, la presión absoluta en cualquier punto es igual a la atmosférica en la superficie libre p_a, más la «carga» h, o presión hidrostática del líquido encima del punto, menos la presión dinámica $v^2/2g$. Al aumentar la velocidad v se alcanza últimamente una presión absoluta negativa cuando

$$v^2/2g > p_a + h,$$

esto es: el líquido queda sometido a una tensión que, cuando alcanza un valor crítico, hace que el líquido se separe y forme cavidades, llenas de vapor o del aire disuelto en el líquido. Dichas cavidades son arrastradas a regiones de mayor presión donde se desintegran, mientras se forman otras nuevas; la duración de una cavidad individual es del orden de 1/100 s.

El problema de la tensión límite que puede soportar un líquido sin desintegrarse fué estudiado primeramente por Berthelot quien embotelló herméticamente un líquido casi a punto de

ebullición para observar las alteraciones en la continuidad del mismo al enfriarse, estimando que el agua podía tolerar hasta 200 atmósferas antes de producirse discontinuidad y vacío en el tubo. La repetición de dichos experimentos y otros análogos para medir directamente la tensión crítica ha resultado en valores mucho más bajos, y Temperley [3], que ha estudiado recientemente este problema, estima que un líquido puede tolerar únicamente una presión negativa de unas diez atmósferas.

En un trabajo nuestro hemos demostrado que la forma de todas las cavidades iniciales originadas por la entrada de una esfera en un líquido es independiente de la viscosidad del líquido. Así, el tamaño de la cavidad formada por la incidencia a idéntica velocidad de una esfera en agua y en glicerol es la misma. El único efecto de la viscosidad de éste es retardar la liberación, y consiguiente elevación hacia la superficie, del aire arrastrado en el impacto. Los experimentos con tanques en cámaras cerradas donde puede variarse la presión sobre la superficie han mostrado que, aunque la forma inicial de la cavidad es independiente de la presión atmosférica, el líquido comienza por lo general a cerrarse en la superficie cuando existe una presión atmosférica normal, pero si la presión baja al 1/5 de la normal atmosférica se produce una pronunciada salpicadura, la cavidad permanece abierta en forma de campana en la superficie y el líquido se re-une primeramente en el fondo de la cavidad; mientras que bajo presiones normales la cavidad se cierra primero en la superficie. Las figuras 3 y 4 muestran dicha diferencia: en la figura 3 tenemos una incidencia bajo presión normal, habiéndose cerrado la cavidad en la superficie; la figura 4 muestra dos fases de una incidencia semejante bajo presión reducida extendiéndose la cavidad en la superficie y cerrándose hacia la mitad (4*b*). La tensión superficial tiene poco efecto a las velocidades de incidencia en estudio, ya que la fuerza de impacto es grande.

Cuando se aumenta la velocidad de entrada, aun hasta la del sonido en el agua (1435 m/s), pueden producirse ondas de choque, pero no se modifica la forma de la cavidad.

La cavitación causada por un líquido que fluye en un tubo o conducto fué estudiada por Osborne Reynolds, quien estableció una regla para la transición del flujo regular al turbulento. El llamado número de Reynolds es la razón del producto: (velocidad media) × (diámetro del conducto) y la viscosidad cinemática del líquido. Debe notarse que se trata de un número puro, independiente del sistema de unidades elegido. Si el número es menor de 2000, el flujo es regular o «viscoso», si mayor de 2800, el flujo es turbulento. Para los valores entre 2000 y 2800, el flujo puede ser regular o turbulento según la forma del conducto y la aspereza de sus paredes.

La investigación experimental de los fenómenos de cavitación de naturaleza complicada puede, por lo general, llevarse a cabo solamente con modelos. Para interpretar correctamente el funcionamiento de un modelo en términos del objeto de tamaño natural, es preciso recordar que si se reduce la carga de agua según la razón $H/h = n$, la velocidad de eflujo por un orificio se reduce también según la razón $\sqrt{(2gH)}/\sqrt{(2gh)} = \sqrt{n}$, y, si asumimos la reducción del diámetro según la razón n, la descarga se reduce en $n^2\sqrt{n}$. R. E. Froude, quien investigó primeramente la resistencia de los modelos de barcos remolcados en un tanque, estableció una regla para el mantenimiento de la similaridad geométrica, siempre que se pueda despreciar la viscosidad. Para el simple sistema de un tanque con un orificio, el número de Froude se expresa por v^2/gd, donde v es la velocidad y d el diámetro del orificio. Como el de Reynolds, éste es un número no-dimensional.

Se han construído complicados modelos de presas, depósitos y conductos para un completo estudio hidrodinámico en relación con algunos proyectos hidro-eléctricos en el norte de Italia, como por ejemplo el de Lumiei.

Sir Charles Parsons realizó experimentos sobre la cavitación en relación con la hélice de un barco en un tanque para modelos en la Fábrica de Heaton, Newcastle upon Tyne, hacia 1900 [4], que fué el prototipo de todas las instalaciones similares que existen hoy en el mundo.

Dicho tipo de cavitación está estrechamente relacionado con el que ya hemos discutido; en ambos casos el líquido se separa del cuerpo allí donde la presión hidrostática sobre el mismo baja casi a cero, de modo que no existe una fuerza que obligue a adherirse a la superficie a la capa limítrofe del líquido. Los cuerpos cuya forma causa la mayor aceleración del líquido en los ángulos agudos producirán cavitación a las más bajas velocidades medias de propulsión. Así el disco con su eje en la dirección de flujo del líquido formará fácilmente una gran cavidad detrás de sí (figura 5). Se necesitan velocidades relativas del orden de 6 m/s para producir cavidades detrás de un objeto sumergido.

Con un objeto de curvas menos marcadas —

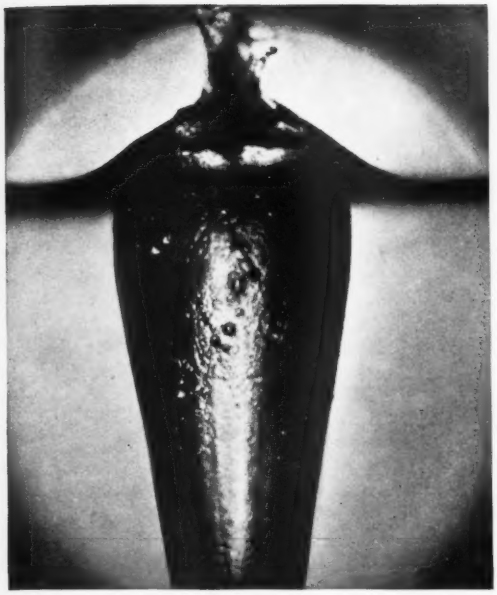


FIGURA 1 – *Entrada de una esfera con una velocidad de 2,3 m/s.*

FIGURA 2 – *Líneas de flujo del agua dislocadas por la entrada de una esfera; la moción aparece indicada por las huellas de las burbujas de aire en las fotografías superpuestas.*

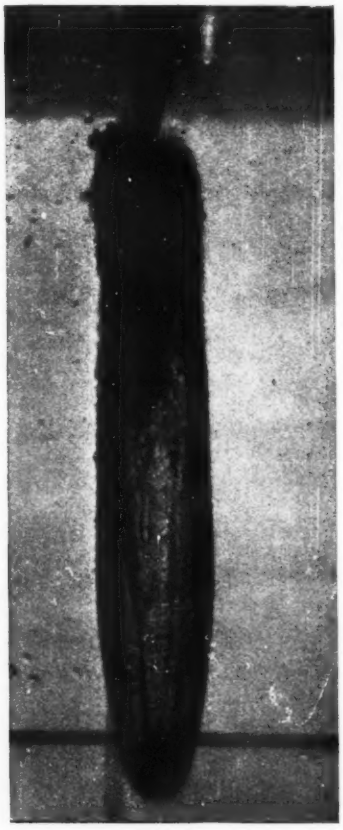


FIGURA 3 – *Entrada de una esfera con una velocidad de 10 m/s mostrando una cavidad de «cierre superficial».*

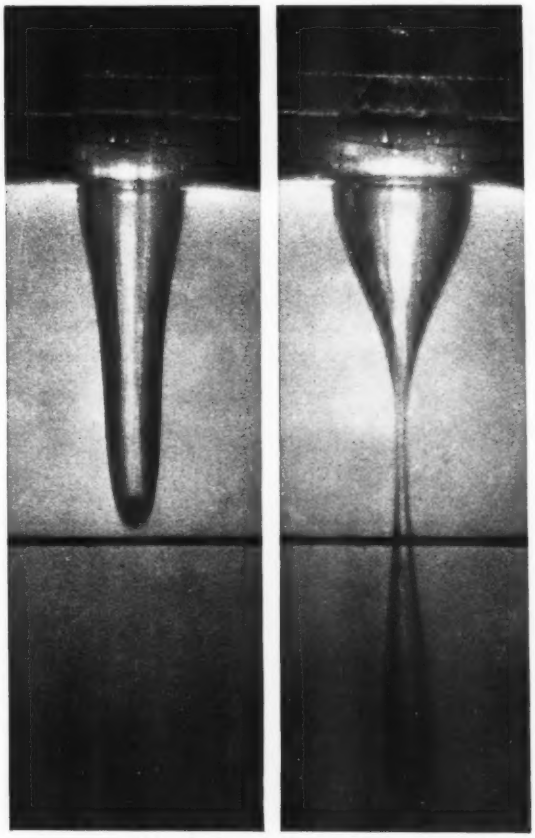


FIGURA 4 – *Entrada de una esfera semejante mostrando una cavidad de «cierre profundo».*

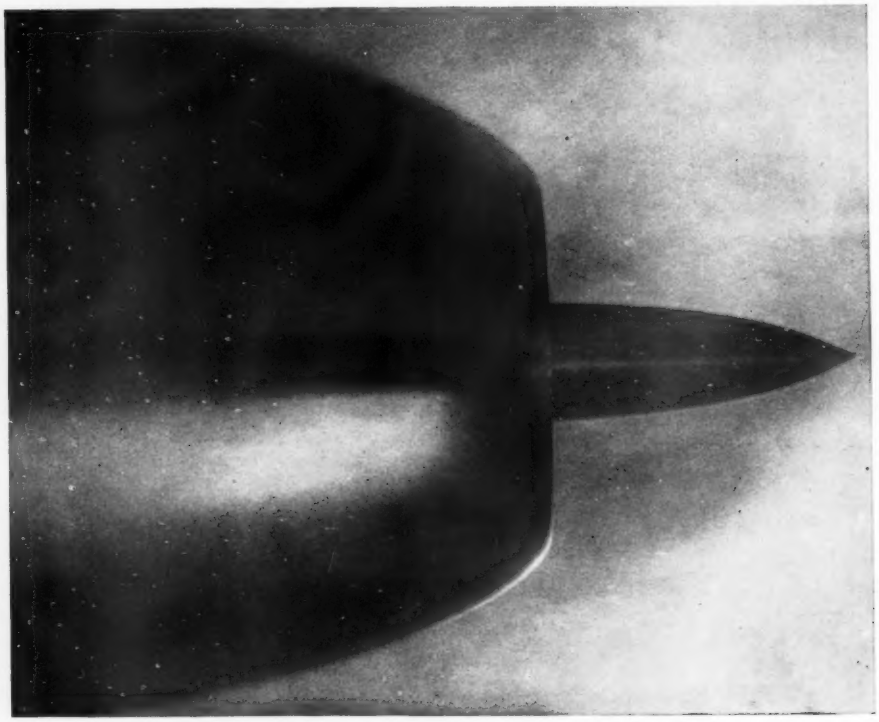


FIGURA 5 – *Disco de 10 cm de diámetro en un túnel de cavitación.*

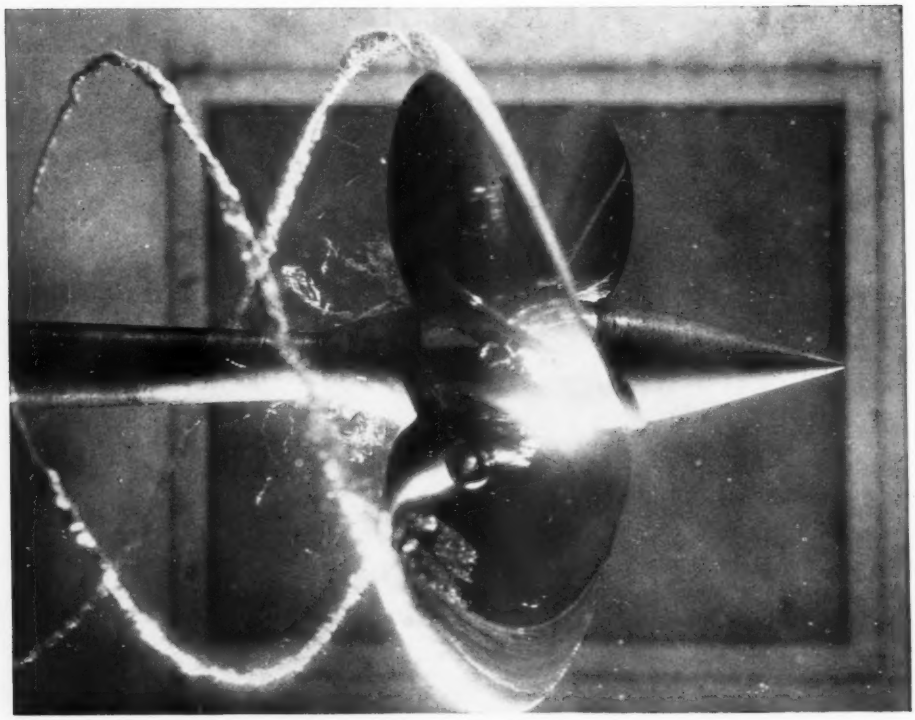


FIGURA 6 – *Hélice en un túnel de cavitación.*
(Cortesía de la N.E. Coast Instn Engrs and Shipbuilders.)

por ejemplo, de forma de pez — cuando se eleva la velocidad de los «hombros» o lugares de mayor curvatura, la cavitación aparece primeramente como una cadena de pequeñas cavidades vaporosas que tienden a desaparecer, como si fuesen burbujas jabonosas. La formación de remolinos en cualquier punto del cuerpo, anterior a la cavitación, hace que el centro de los remolinos actúe como núcleo del vapor; al aumentar la velocidad se aumenta también la formación de vapor y el tamaño de las burbujas, hasta que éstas se funden entre sí formando una envoltura de la hélice en movimiento o de toda la porción trasera de un obstáculo estacionario.

La multitud de pequeñas burbujas formadas da al líquido una apariencia lechosa, lo que es señal de estar a punto de producirse la cavitación. La consiguiente reducción de densidad causa una deformación de la distribución de presión y velocidad que disminuye la eficacia de toda maquinaria hidráulica. El estallido de las burbujas produce una serie continua de martillazos sobre las paletas de las turbinas, bombas y hélices, y como la presión dentro de la burbuja en el instante de su explosión puede alcanzar hasta miles de atmósferas, según comprobó Lord Rayleigh, se comprende fácilmente la grave erosión que se produce. Aunque en la actualidad se construyen las partes de la maquinaria sometidas a la erosión con materiales resistentes a la misma, tales como acero inoxidable, acero cromo-niquel, y bronce, no se resuelve con esto el problema de la reducción de eficiencia debida a la cavitación. Para ello es necesario perfeccionar el diseño de las paletas, teniendo en consideración la variación de condiciones en que trabaja la máquina, variación que significa generalmente una distribución de presión diferente, como cuando se reduce la compuerta de entrada de una turbina.

Otro efecto de cavitación que ha recibido considerable atención es el ruido producido por la explosión de las burbujas y el consiguiente impacto sobre las palas, el cual genera vibraciones en la hélice. Ello es perjudicial particularmente en el caso de la hélice de un barco (la «hélice cantarina»), no sólo porque existe una mayor probabilidad de causar vibraciones de resonancia en otras partes de la nave [5] — máquinas, engranajes, árbol, quilla — sino también porque el ruído continuo, sobre todo si va acompañado de vibraciones horizontales, puede causar efectos molestos en el sistema nervioso de tripulantes y pasajeros.

La figura 6 es una fotografía de una hélice en un túnel de cavitación en el que quedan rezagadas, debido a la rotación de las palas, en forma de hélices, las cavitaciones producidas. La presión atmosférica sobre el agua influye en la naturaleza de dichas cavidades, lo mismo que sobre las que se producen por impacto [6].

Naturalmente, la presencia del aire disuelto en el agua sirve como núcleo que favorece la formación de las cavidades, y por ello, y para obtener cierta uniformidad, todos los túneles deben tener una cámara de extracción de aire, debiendo asimismo evitarse cuidadosamente toda infiltración de aire en el agua a través de las juntas del túnel.

En conclusión, hay una tercera causa de formación de las cavidades. Ya nos hemos referido a la cavitación producida por la excesiva aceleración del flúido. Este tipo de cavitación puede producirse no sólo en un flujo continuo normal sino también en el punto de mayor aceleración de un flujo alterno en la proximidad de generadores ultrasónicos sumergidos. Como la aceleración en el movimiento armónico simple es proporcional al cuadrado de la frecuencia el máximo de aceleración necesario se obtiene más fácilmente si la frecuencia es alta. Muchos de los «efectos» observados en la agitación ultrasónica de los líquidos, tales como la degasificación, destrucción de culturas bacterianas, y la desintegración de moléculas de altos polímeros, se atribuyen a las fuerzas creadas al formarse y luego derrumbarse las cavidades contra la superficie del cuerpo ultrasónico.

Debido a la diferencia de impedancia acústica entre el aire (o el vacío) y el agua o un material sólido, dicha iniciación de la cavitación limita la eficiencia de un generador de señales ultrasónicas de alta potencia. En este campo se están realizando asimismo investigaciones para extender el límite a resultados más elevados, y los datos derivados de estos estudios serán también de valor en el análogo problema de las hélices.

BIBLIOGRAFIA

[1] WORTHINGTON, A. M. *Philos. Trans. Roy. Soc.*, A**189**, 137, 1897.
[2] *Id.* «A Study of Splashes». Longmans. Londres. 1908.
[3] TEMPERLEY, H. N. V. *Proc. Phys. Soc.*, **59**, 199, 1947.
[4] PARSONS, SIR CHARLES. *Trans. Instn Naval Arch.*, **38**, 241, 1897.
[5] BROWN, T. W. F. *Trans. N.E. Coast Instn Engrs and Shipbuilders*, **55**, 127, 1939.
[6] GAWN, R. W. L. *Ibid.* **65**, 339, 1949.

Compuestos moleculares

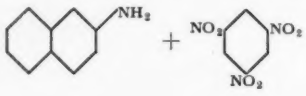
H. M. POWELL

Descripción de tres tipos de «compuestos moleculares cristalinos» formados por dos o más compuestos químicos sin medios aparentes de combinación química: (1) compuestos formados por un enlace debido a una atracción residual; (2) compuestos en los que un componente permanece constante, existiendo cierta semejanza estructural en el otro; el primero posee en su estructura molecular una serie de canales cilíndricos en los que encajan las moléculas del segundo; (3) compuestos clatratos en los que un componente es constante y el segundo tiene un límite en su tamaño molecular. En este tipo, una gran molécula hueca contiene las moléculas menores de un compuesto más volátil. Estudio de las propiedades de dichas substancias, y de sus aplicaciones para la purificación y otros procesos.

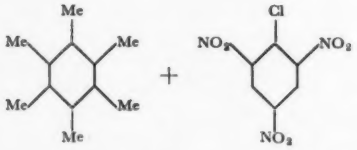
En condiciones favorables, tal como la presencia en la misma solución refrigerante, dos compuestos químicos — y a veces más — cada uno capaz de existencia independiente y sin poseer ningún medio aparente de unión química, pueden formar conjuntamente una nueva substancia cristalina, descrita como un compuesto cristalino molecular.

La tabla da algunos ejemplos solamente, y su disposición en tres grupos es meramente para ilustrar la forma en que, para los ejemplos seleccionados, puede variar la forma molecular y razón de los componentes.

En el tipo I pueden tener lugar considerables variaciones de ambos componentes sin afectar la posibilidad de la formación del compuesto o la fórmula general. Así los pares moleculares:



y



se combinan de esta forma. En ellos la razón molecular 1 : 1 no requiere un enlace químico ordinario entre los pares de moléculas, ya que puede originarse en la regularidad de su entrelazamiento; según el análisis de la estructura cristalina de uno de tales compuestos, ningún par comprendido por un átomo de A y B tiene la corta distancia interatómica requerida para un enlace covalente. Es razonable, en este grupo atribuir la formación de compuestos a alguna forma de aguda atracción residual, que afecta posiblemente a partes determinadas de las moléculas.

En el grupo II un compuesto permanece constante y las moléculas del segundo tienen un cierto parecido estructural entre sí. Aunque pueden diferir en otros aspectos, la diferencia principal es frecuentemente una de longitud molecular; las distintas moléculas están relacionadas entre sí en la misma forma que los miembros de series homólogas. En estos cristales, la estructura de un compuesto deja un sistema de canales paralelos, aproximadamente cilíndricos en los cuales se disponen longitudinalmente moléculas de forma de bastón del segundo componente.

Tres factores de importancia hay en relación con dicha disposición: (1) Por regla general la estructura no es la que adopta el compuesto formador de la estructura cuando cristaliza por sí solo, de manera que el examen de las estructuras de componentes puros no proporciona ninguna indicación directa de cuáles substancias formen probablemente tales compuestos. (2) La estructura y las dimensiones de los canales, estando solamente sujetas a variaciones menores, limitan el segundo componente a aquellas substancias que tienen moléculas del tamaño y forma que puedan encajar en el espacio disponible. Así las moléculas de las parafinas normales encajan en los canales formados por las moléculas de urea, pero los isómeros ramificados no pueden entrar en semejantes combinaciones a causa de sus excrecencias, que no pueden acomodarse en los canales. (3) La composición del compuesto formado depende de la longitud de la molécula cilíndrica, la cual debe encajar en el espacio de forma similar. En general el número de moléculas en los canales será inversamente proporcional a sus longitudes, como en los compuestos dinitrodifenílicos, y no es necesario que haya una razón simple entre el número de moléculas en los canales y el número de moléculas requerido para formar la estructura.

Esto queda ilustrado por la serie urea-hidrocarburo.

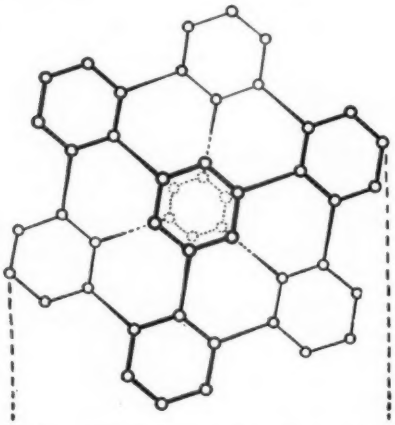
En los compuestos del tipo III, un componente permanece constante y las posibles variaciones del segundo no dependen del parecido químico sino del tamaño molecular. Los miembros de series homólogas no se reemplazan mútuamente, pero pueden hacerlo las moléculas de parecido tamaño. Así, la serie de compuestos de quinol, dados en la tabla, tienen como segundo compuesto substancias tan distintas químicamente como el ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso, metanol, acetileno, anhídrido carbónico, ácido fórmico, y argón. No obstante, no se forman compuestos semejantes con resorcinol, un isómero del quinol; el ácido sulfhídrico no puede substituirse por agua; ni el metanol por etanol, ni el argón por helio.

Las investigaciones estructurales muestran que en esos compuestos el quinol forma una estructura que incorpora moléculas del segundo componente en cavidades de un tamaño limitado. En tales compuestos cada molécula del segundo componente está incluída en una jaula molecular separada, de la cual no puede escapar. Las figuras 1 y 2 ilustran la forma de este aprisionamiento.

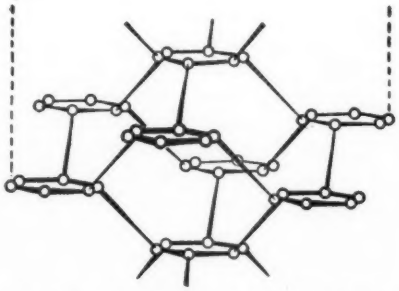
Del estudio de la estructura se desprenden los siguientes puntos sobre el comportamiento de la serie:

(1) La tenacidad con la cual el constituyente normalmente volátil está retenido en la asociación molecular con el quinol no se explica por la atracción mutua de los componentes. Esto puede ilustrarse con el compuesto de argón. La interacción de Van der Waals entre el argón y el resorcinol no ocasiona formación de compuesto molecular, y no debe esperarse una interacción muy diferente cuando el quinol isomérico reemplaza al resorcinol. Sin embargo, el compuesto cristalino de argón muestra una presión negligible de argón y puede mantenerse sin alteración por largos períodos. Esto se atribuye a la acción aprisionadora

FIGURA 1 – *Forma de enlace del hidrógeno en las moléculas de quinol.*



(a) *En planta: cada hexágono regular indica seis enlaces de hidrógeno entre los átomos de oxígeno. Los 8 hexágonos, a niveles distintos están representados por líneas de diferentes gruesos. Las líneas que interconectan los hexágonos, representando el eje O—O de una molécula de quinol, muestran la forma de enlace para constituir una estructura de jaula tridimensional. Cada una de ellas está orientada hacia abajo desde el observador.*



(b) *Dibujo en perspectiva correspondiente a la disposición anterior. Los hexágonos denotan enlaces de hidrógeno; las líneas más largas enlazando distintos hexágonos indican el eje O—O de la molécula de quinol. La estructura completa tal como se halla en los compuestos moleculares consiste en la jaula indicada, conjuntamente con una segunda estructura de jaula entrelazada con ella, la cual está desplazada verticalmente a mitad de la distancia entre los hexágonos superior e inferior.*

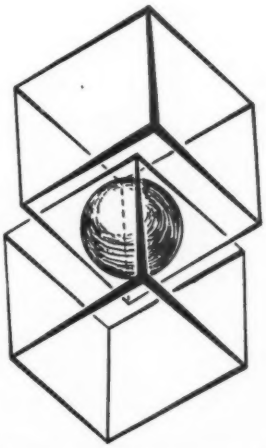
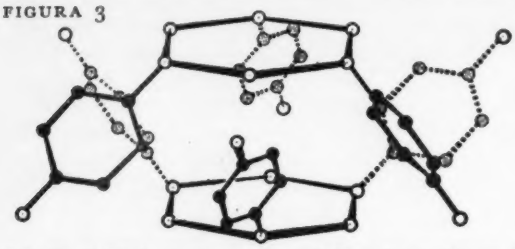
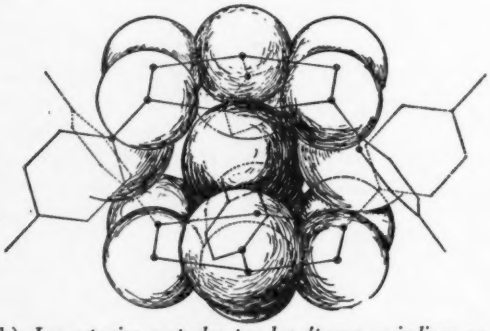


FIGURA 2 – *Representación esquemática del recinto. La molécula encerrada está representada por una esfera prisionera por dos estructuras de jaula entrelazadas. Cada borde de la jaula puede ser considerado como conteniendo una molécula de quinol y la estructura real consiste no sólo de la parte de jaula indicada sino de una disposición extendida indefinidamente y obtenida por la prolongación de los bordes hasta formar una continuidad de jaulas parecidas.*

FIGURA 3



(a) *En el dibujo en perspectiva se indican las posiciones de seis moléculas de quinol circundantes inmediatas a un átomo de argón. Esto es falaz porque los centros de los átomos están indicados y el espacio ocupado por los átomos no puede indicarse al mismo tiempo.*



(b) *Los espacios ocupados por los átomos se indican en el dibujo a igual escala que el anterior. También se indican unos átomos circundantes del átomo central de argón. Se distinguen de aquellos que han sido omitidos por medio de pequeños círculos dibujados alrededor de su centro. Las líneas de trazos indican que una parte de la estructura así representada existe detrás de una porción dibujada con trazo lleno.*

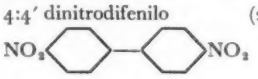
de las jaulas moleculares en las que el argón está retenido. Para liberarse, el átomo debe pasar a través de un agujero de escape cuyo centro está mucho más cerca del armazón de la jaula de átomos que las distancias de equilibrio de Van der Waals entre átomos no enlazados. Al acercarse a tal posición, el átomo estará sujeto a fuerzas de repulsión mutua que se desarrollan cuando dos átomos cualesquiera están suficientemente próximos. Estas fuerzas, patentes en la relativa incompresibilidad de los líquidos y sólidos, aumentan considerablemente en intensidad a medida que la distancia interatómica decrece por debajo del valor de equilibrio, y, al mantenerse la jaula debido a fuerzas considerables, el átomo recluído se hallará forzado a quedar retenido. Siempre habrá alguna atracción debido a la fuerza de Van der Waals u otras fuerzas entre los componentes incluído e incluyente de tal compuesto molecular, y puede ser de gran importancia para colocar las moléculas en su posición de inclusión al formarse el cristal, pero una vez que el átomo o la molécula quedan incluídos no pueden escaparse.

(2) El compuesto volátil será liberado en los procesos que destruyan la estructura de la jaula. Así el argón es liberado cuando se calienta el compuesto quinol-argón a temperaturas a las que las moléculas de quinol rompen los enlaces de hidrógeno y se volatilizan. El gas es también liberado por disolución del compuesto en cualquier disolvente del quinol.

(3) La formación de compuestos se restringe a pares dados de móleculas por características más bien geométricas que químicas. Así, la disposición que muestra la figura 1 tiene seis grupos —OH de seis moléculas diferentes de quinol en forma de hexágono, con los enlaces O—C orientados alternativamente hacia arriba y hacia abajo de los hexágonos, de tal manera que estos enlaces están aproximadamente según el ángulo tetraédrico con los enlaces de hidrógeno, como es corriente. Si los grupos —OH apartados de estos seis se disponen geométricamente equivalentes al primer grupo, forman parte a su vez de otros hexágonos con enlaces de hidrógeno, y el resultado es una extensa molécula gigante que, con su gemela idéntica interpenetrante, forma la estructura envolvente de los compuestos moleculares. La substitución del resorcinol isomérico, con los grupos —OH en diferentes posiciones relativas en la molécula, es un cambio radical geométricamente incompatible con estos requerimientos. Esta molécula no puede, por lo tanto, reemplazar al quinol aunque se concibe que pueda formar compuestos de un carácter similar según un plan geométricamente distinto.

Puesto que las cavidades son de forma predeterminada, aparte de menores variaciones, las únicas moléculas capaces de inclusión son aquellas que tienen un tamaño y forma que les permite alojarse en el espacio disponible, y que al mismo tiempo son suficientemente grandes para no poder escapar a través de los agujeros. Con el quinol, se puede incluir la molécula de metanol, pero la molécula de etanol es demasiado grande y la de agua demasiado pequeña. El argón puede quedar incluído, pero el átomo de helio, bien conocido por su habilidad para penetrar en agujeros pequeños, no da un compuesto semejante.

(4) Hay una composición límite, determinada por la razón entre el número de moléculas formadoras de jaulas y el número de cavidades. El segundo componente puede estar presente en cantidad menor que el máximo permitido porque algunas de las cavidades están desocupadas. En

	Componente A	*Componente B*	*Composición del compuesto molecular*
I	Compuestos polinitros (1) aromáticos, tales como *s*-trinitrobenceno	Hidrocarburos aromáticos y sus derivados, por ejemplo: naftalina o anilina	Frecuentemente A.B., pero se conocen otras relaciones simples.
II	4:4′ dinitrodifenilo (2) 	Difenilos 4:4′ substituídos	A_n.B *n* aumenta cuando crece la longitud de la molécula B. Para B = diacetoxidifenilo 4:4′, $n = 5$; para otros, $n = 4, 3\frac{1}{2}, 3$ según la longitud molecular.
	Ácido dioxicólico .. (3)	Ácidos grasos, parafinas normales y otras substancias	A_n.B. $n = 1, 3, 4, 6$, o 8 aumentando cuando la longitud de la molécula de ácido graso crece.
	Urea .. .. .. (4)	Parafinas normales, ácidos carboxílicos, alcoholes, ésteres, etc.	A_n.B. *n* en general no es un número entero y con valores desde 4 para arriba aumentando al crecer la longitud de la molécula B.
III	Quinol (5)	MeOH, MeCN	A_3.B
	Quinol	H_2S, SO_2, HCl, HBr, HCN, CO_2, C_2H_2, A, Kr, Xe	Acercándose a A_3B, pero con menos B de lo que la fórmula requiere y con proporción variable de B.
	Estructura compleja de (6) composición $Ni(CN)_2.NH_3$	Benceno, tiofeno, y algunas moléculas semejantes, pero no los homólogos	A.B

el caso de los compuestos de quinol del tipo β se ha encontrado que cuando el compuesto se obtiene por simple cristalización del segundo componente (por ejemplo: metanol o cianuro de metilo empleado como disolvente) casi todas las cavidades están ocupadas y se obtiene la fórmula ideal 3 quinol/M. Cuando es necesario emplear un disolvente indiferente para conseguir ambos componentes juntos, pueden quedar vacantes una considerable proporción de espacios. Esto se observa en compuestos tales como los del ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso y ácido bromhídrico. Puesto que la dificultad para colocar una molécula en una cavidad vacía ya formada es la misma que la necesaria para sacarla de una cavidad ocupada, estos espacios vacantes, una vez formados, se mantienen; y la frecuencia de su ocurrencia debe depender de factores (tal como la concentración del compuesto volátil disuelto) que afectan la probabilidad de que sus moléculas estén en la posición de inclusión en el momento de formación de la jaula. Algunos de los componentes se forman por lo tanto por cristalización de soluciones de quinol en las cuales la concentración del gas disuelto se aumenta por presión.

El conocimiento de la naturaleza de los compuestos moleculares ayuda a la solución de algunos problemas y son patentes las posibilidades abiertas a su uso.

A veces un compuesto molecular ha sido erróneamente tomado por uno de sus componentes. Por ejemplo, la substancia originalmente denominada β-quinol, una supuesta forma polimórfica del metanol, se ha probado que era el compuesto de metanol perteneciente a la serie clatrato ya mencionada. Sin embargo, el carácter oculto del compuesto metanol es tal que esta substancia ha sobrevivido hasta hace muy poco un gran número de investigaciones de sus propiedades sin haberse detectado el error.

Más frecuentemente, sin embargo, una substancia cuya constitución no parece ser de otro

modo puesta en duda puede dar valores analíticos insospechados, los cuales son debidos a que el disolvente se combina de tal forma.

Hay posibilidad de emplear tales compuestos en los procesos de purificación, separación, identificación y valoración cuantitativa. Es difícil, a veces, purificar una substancia por medio de ciertos métodos debido a la presencia continuada de impurezas que poseen semejante solubilidad, volatilidad u otras propiedades, y en esta importante etapa puede aplicarse un método de separación dependiente de un factor distinto. El tamaño y forma molecular pueden ser tan diferentes que la separación sea tan completa como la basada, en una etapa previa, sobre alguna diferencia química profunda. El caso de los compuestos urea-hidrocarburos ya mencionado ilustra el diferente comportamiento entre los isómeros de cadena lineal y los ramificados. En los cristales que contienen largas moléculas en canales, los distintos miembros de una serie de cadena lineal pueden ser no separables, pero en los tipos de clatrato donde las cavidades cerradas de dimensiones fijas están ocupadas existe una acción altamente selectiva. Esto está ilustrado por la formación por el quinol de esta clase de compuestos con sólo metanol entre los alcoholes.

De forma parecida el complejo cianuro de níquel/amoníaco forma compuestos con el benceno y otras substancias tales como el tiofeno, furano, pirrol, anilina y fenol. La formación de jaula del complejo cianuro de níquel/amoníaco no es quizá tan completa como la de los compuestos de quinol, pero es extremadamente difícil eliminar el benceno del compuesto, y la acción al combinarse con el benceno ha sido considerada, durante muchos años, tan específica que proporciona un medio de análisis cuantitativo gaseoso. El benceno puede así separarse de los hidrocarburos no aromáticos y de sus propios homólogos.

Las razones para la formación de estos compuestos y las circunstancias en las cuales es probable se produzcan no pueden ser consideradas en este artículo, pero podemos dar alguna indicación de su posible significado en otros campos. La asociación de dos substancias sin necesidad de combinación química puede ser, en sentido ordinario, común en la naturaleza. Los compuestos libres del tipo analizado pueden ser muy importantes en los sistemas biológicos. Existe una clara ilustración de las propiedades específicas asociadas con el acoplamiento de dos compuestos moleculares en alguna de dichas estructuras, las cuales pueden servir como modelos para las disposiciones moleculares mucho más complejas de la materia viva.

BIBLIOGRAFIA

GIACOMELLO. *Atti R. Accad. Lincei*, **27**, 101, 1938; *Gazz. chim. ital.*, **69**, 790, 1939.
GO y KRATKY. *Z. physikal. Chem.*, B, **26**, 439, 1934.
PALIN y POWELL. *J. Chem. Soc.*, 208, 1947; 571 y 817, 1948.
PFEIFFER, P. «Organische Molekülverbindungen». Stuttgart. 1927.
POWELL. *J. Chem. Soc.*, 61, 1948; 298 y 468, 1950.
POWELL y RAYNER. *Nature*, **163**, 566, 1949.
RAPSON, W. S., SAUNDER, D. H., y STEWART, E. T. *J. Chem. Soc.*, 1110, 1946.
RHEINBOLT. *Liebig's Ann.*, **451**, 256, 1927.
SCHLENK, W. *Ibid.*, **565**, 204, 1949.
WÖHLER. *Ibid.*, **69**, 297, 1849.

Revista de libros

BIBLIOGRAFIA

A List of British Scientific Publications reporting Original Work or Critical Reviews. 95 págs. Publicada para la *Royal Society* por Cambridge University Press. 1950. 2s. 6d.

En la Conferencia sobre Información Científica organizada por la *Royal Society* en 1948 indicaron muchos delegados el valor que tendría una lista de publicaciones científicas del Reino Unido que incluyesen una proporción substancial de trabajos originales y revistas críticas. Resultado de tales recomendaciones es la presente publicación que, sin pretender ser completa, reseña unos 220 títulos y da una breve descripción de su contenido y detalles de la frecuencia de su publicación, número del último volumen, tamaño aproximado, si publica trabajos sumarizados, si se aceptan anuncios, cómo puede obtenerse contacto con los autores, precio, y dirección de la redacción y de los editores.

BIOQUIMICA

SEXTON, W. A. *Chemical Constitution and Biological Activity.* Prólogo del Profesor A. R. Todd. 434 págs., con 42 figs. y 58 tablas. E. and F. N. Spon Limited, Londres. 1949. 55s.

El rápido progreso de los conocimientos de la química de las substancias biológicas nos permite ahora un enfoque más fundamental de los problemas de la quimioterapia. En este volumen, el Dr. Sexton reúne gran riqueza informativa sobre la actividad biológica de ciertas substancias químicas, estudiando en detalle la relación entre la constitución química y la reacción biológica. El libro se divide en dos partes; los primeros cinco capítulos contienen sinopsis de los principios científicos fundamentales, incluso estudios de las proteínas, enzimas, macromoléculas de importancia biológica, la

química-física del crecimiento bacterial, etc. Los dieciseis capítulos restantes tratan detalladamente de la acción de numerosas substancias que se han usado en la quimioterapia, de los insecticidas, de los reguladores del crecimiento vegetal. Para el lector general, a quien asombrará la cantidad de cuidadosos trabajos que se han realizado ya en dicho campo, ha de ser fascinante la lectura de este libro, que, por otra parte, con sus tablas, sumarios y referencias, será indispensable para todo investigador. Se han conseguido algunos resultados espectaculares, como los de las sulfamidas, penicilina, paludrina, y «Antricida», habiéndose conseguido en ciertos grupos considerable correlación entre su estructura y actividad.

E. L. HIRST

CIENCIA GENERAL

COHEN, I. BERNARD. *Science, Servant of Man. A Layman's Primer for the Age of Science.* Sigma Press, Londres. 1949. 15s.

Es éste un libro de cierta importancia, destinado a los legos, pero que suministra también materia de reflexión al científico. Su propósito es estudiar las condiciones en que se realizan los descubrimientos científicos de valor práctico, problema intrincado que el autor trata clara y lógicamente. Examina los diversos tipos de descubrimiento científico, demostrando que no pueden todos ellos, ni quiera una mayoría, reducirse a un tipo único: unos son accidentes fortuítos explotados por una inteligencia curiosa y receptiva; otros son resultados secundarios de investigaciones conducidas con otro fin; otros son los resultados de investigaciones planificadas; y otros, en fin, de la utilización de principios descubiertos muchos años antes, cuando parecían no tener uso alguno. Al estudiar el método mediante el cual se pueda conseguir la mayor utilidad posible de la ciencia, el autor se coloca contra los partidarios de la planificación en la investigación, citando al Dr. Oliver E. Buckley cuando dice: «Todos los buenos directores industriales saben por experiencia que una de las cosas que un director de investigación no debe hacer nunca es dirigir la investigación. . . .»

F. SHERWOOD TAYLOR

DINGLE, HERBERT. *Science and Literary Criticism.* 184 págs. T. Nelson and Sons, Londres. 1950. 7s. 6d.

El Profesor Dingle, conocido catedrático de Historia y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Londres se pregunta en esta obra si será posible concebir una forma de crítica literaria verdaderamente científica, esto es: basada en principios objectivos y valores impersonales. El estricto estudio de dicho tema le lleva a la conclusión de que si bien no es inherentemente imposible concebir una crítica científica, pocas probabilidades hay de que nunca se establezca. Razona, sin embargo, que una preparación científica evitará al crítico la caída en ciertos errores; como ejemplo de la influencia que el método científico pudiera tener sobre la labor crítica, el autor nos presenta varios ensayos suyos, notablemente uno sobre Wordsworth.

Lo que Wordsworth buscaba era sublimar místicamente el sentimiento, sin intrusión de la razón ni análisis mental ninguno; su desprecio era absoluto hacia todos los intentos filosóficos sistemáticos que pretendían llegar a una unificación intelectual del cosmos. Lo que adoraba era el Espíritu que permea la Naturaleza toda, credo nunca tan brillantemente presentado como en el análisis del Profesor Dingle, que ha de ser considerado como una valiosa contribución a la literatura crítica.

E. T. WHITTAKER

FISICA

MARTIN, THOMAS. *Faraday's Discovery of Electro-magnetic Induction.* 160 págs., con ilustraciones a medio tono y línea. Edward Arnold and Co., Londres. 1949. 9s.

Poco necesitaremos decir sobre el valor de este último libro de Mr. Martin a quienes conozcan ya la devoción y paciencia con que ha editado el Diario de Faraday. En la presente obra se describen con todo detalle las investigaciones que condujeron al descubrimiento de la inducción electro-magnética, con facsímiles de más de cincuenta dibujos de Faraday.

Mr. Martin señala la importancia de los primeros experimentos de aquél en 1821 y la detallada atención con que siguió los trabajos de otros desde 1821 a 1831 — período en el que andaba ocupado con otros problemas — hasta que en esta fecha volvió a sus investigaciones eléctricas, sin interrumpirlas ya. Siguieron entonces sus rápidos descubrimientos, desde el experimento del anillo el 29 de agosto a la producción el 17 de octubre de una corriente inducida por el movimiento de un imán en una bobina de hilo de cobre, y luego a la producción de corrientes por inducción, de corrientes inducidas por medio del magnetismo terrestre, y de la «chispa magneto-eléctrica».

La excelente presentación de la continuidad de los pensamientos de Faraday con sus experimentos nos ayuda grandemente a comprender la inteligencia genial de tan gran maestro.

D. MCKIE

INDUSTRIA QUIMICA

BARRON, H. *Modern Synthetic Rubber.* 3a edición. xx + 636 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 45s.

Nadie podrá negar que es éste un libro atrayente, pero es imposible decidir si el propósito del autor era escribir una obra de semi-popularización o un manual serio; se encuentra, en realidad, entre los dos extremos. El libro se basa en lo que el autor denomina un «simple sistema», pero, de hecho, el sistema es complejo e innecesario. Describir una goma artificial como goma sintética se halla mucho más cerca de la verdad que la descripción de plásticos duros, tales como el cloruro polivinilo o el politeno, como «elásticos sintéticos».

Con todo, la tercera edición es sin duda mejor que las anteriores, pero la cuarta deberá subsanar cuanto antes los errores que aún existen.

W. J. S. NAUNTON

INGENIERIA

HENISCH, H. K. *Metal Rectifiers.* xi + 155 págs., con 55 figuras. Oxford University Press, Londres. 1949. 15s.

El propósito indicado de esta monografía es suministrar a quien se inicie en tales materias una introducción crítica al estudio de la teoría y práctica de los rectificadores metálicos, así como una guía de los considerables trabajos publicados para quienes deseen especializarse en dicho tema. Y el autor consigue su propósito ajustándose estrictamente a la presentación clara y concisa de cada aspecto de su estudio, dejando los detalles a la extensa bibliografía existente.

En su aspecto teórico sólo cabe indicar las líneas generales de este estudio, lo que ha conseguido el autor a fuerza de compresión, pero sin perder claridad. En su aspecto experimental, el capítulo sobre las mediciones cae por debajo del nivel del resto de la obra, no presentando un estudio adecuado de las distintas técnicas ni una bibliografía suficiente.

Los métodos de preparación y las

propiedades de los rectificadores metálicos van estudiadas en considerable detalle, aunque sería de apreciar la inclusión en ediciones futuras de referencias a los rectificadores de selenio y de sulfuros. S. W. H. W. FALLOON

METALURGIA

CHALMERS, BRUCE (Compilador). *Progress in Metal Physics.* 401 págs. Butterworth's Scientific Publications, Londres. 1949. 45s.

Según el compilador de este volumen, el propósito del mismo es «ofrecer estudios autorizados del presente estado del conocimiento en aspectos especializados de un campo que incluye tanto la metalurgia física como la física de los metales». En esta primera serie aparecen siete estudios, y existe la intención de mantener la obra al día mediante la publicación de estudios subsiguientes que recojan los últimos avances. Como los artículos del presente volumen son los primeros de la serie, incluyen asimismo el necesario estudio del desarrollo histórico.

La física de los metales es una rama relativamente nueva, de importancia reconocida y creciente. Al conocimiento de la estructura metálica revelada por el microscopio, y al vasto número de datos sobre las propiedades físicas se añade ahora el conocimiento de su pauta atómica, dimensiones de las cristalizaciones y valor de las tensiones, obtenidos por Rayos X, y los datos acerca de las micro-estructuras que nos revela el microscopio electrónico. Y así hoy podemos intentar con mayor probabilidad de éxito explicar las propiedades físicas de los metales a base de su organización atómica.

No es una crítica de los autores de los artículos decir que el volumen deja una honda impresión de confusa complejidad. Hay un contraste extraordinario entre la grande simplicidad de un cristal perfecto de un metal puro, de cuya naturaleza nos ha dado el físico atómico una explicación razonablemente completa, y la complejidad de conducta cuando se destruye la simetría ideal; y si consideramos las aleaciones y soluciones sólidas, dicha complejidad se aumenta infinitamente.

Aún no existe el genio que sepa ordenar y organizar dichos datos y acertar así con la clave del problema de una teoría unificada y simple. El estudio de la teoría de las aleaciones es el más satisfactorio, o quizás debiéramos decir el menos disatisfactorio en este respecto. En él se comienza a ver cómo las piezas del rompecabezas comienzan a ocupar su lugar; el conocimiento de la organización atómica aliado con la teoría de los *quanta* ofrece por vez primera a la física de los metales una base de organización. En las secciones sobre la teoría de las dislocaciones y los límites cristálicos, y sus efectos sobre los deslices y resbales, endurecimiento y fractura, todavía nos hallamos en plena oscuridad. El progreso depende de una más completa comprensión del número y ordenación de las dislocaciones, de las unidades que utilicemos para determinar la perturbación de la forma cristalina pura, y en cuyas fluctuaciones queremos encontrar la explicación del flujo del metal. Hasta que no adquiramos un mayor conocimiento de su naturaleza física, la teoría matemática hasta ahora desarrollada no es en realidad más que una hoja de parra que cubre la auténtica desnudez de nuestras intuiciones. El tecnólogo tiene, pues, que esperar a que el avance de la ciencia pura le oriente algún día. La sección de la reacción de endurecimiento de los aceros es más técnica que el resto, lo cual es natural en vista de la complejidad de los fenómenos. En la sección sobre la difusión es posible usar técnicas matemáticas bien desarrolladas, aunque también aquí la comprensión de los fenómenos físicos fundamentales es muy incompleta.

Tenemos que agradecer a los autores la paciencia y habilidad con que se han dedicado a la tarea de sumarizar el campo de la física de los metales en su estado presente. Su importancia industrial es muy grande y es necesario favorecer la investigación y mantenernos en la vanguardia de este movimiento. En esta obra el investigador puede hallar referencias a todos los trabajos importantes realizados durante los últimos años y que se hallan dispersos en multitud de publicaciones, lo que le ha de ser de utilísimo servicio.

W. L. BRAGG

QUIMICA

ADAMS, ROGER, BACHMANN, W. E., BLATT, A. H., FIESER, L.F., JOHNSON, J. R., y SNYDER, H. R. *Organic Reactions*, Vol. IV. 428 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1948. 36s.

Este es el último volumen de una conocida serie de manuales y sigue las líneas generales de los anteriores. El estudio de la reacción de Diels-Alder, con sus numerosas variantes, ocupa más de 170 págs. presentando el sumario más detallado que se ha publicado hasta hoy. El estudio de dicha reacción cubre el mecanismo de la misma, su reversibilidad, selectividad estereoquímica, reacciones laterales, limitaciones y anormalidades, incluyendo una interesante pérdida de azufre del dinaftilenetiofeno y recalcándose la luz que dicha reacción ha arrojado sobre el mecanismo de polimerización.

Se describen asimismo la preparación de aminas a partir del amoníaco y un aldehido o ketona con un agente reductor, incluso el níquel Raney. Se estudia la posible formación intermedia de una base de Schiff en la reacción catalizada por el níquel y por óxidos metálicos, así como también la formación de productos secundarios, *v.g.*: las bases piridínicas. Los capítulos sobre los análogos de la benzoína contienen un estudio teórico y muy útil sobre la formación de aciloínas a base de ésteres o cloruros ácidos. Al estudiar el uso de la hidracina para la reducción de grupos carbonilos se distinguen las reacciones de Wolff y de Kishner, comparándoselas críticamente con la de Clemmensen. La reducción catalítica de los cloruros ácidos y la formación de quinonas por oxidación reciben también considerable atención.

FREDERICK CHALLENGER

DEERR, NOEL. *The History of Sugar.* Vol. I, 258 págs., con 20 planchas, 6 figs. y 8 mapas en el texto; Vol. II, 259–636 págs., con 11 planchas y 42 figs. en el texto. Chapman and Hall Limited, Londres. 1949 y 1950. 50s. y 55s.

Este es un completo estudio histórico de la industria azucarera en sus diversos aspectos, y el autor ha incluído nuevos y valiosos materiales, junto con varias ilustraciones deliciosas, producto de pacientes investigaciones en bibliotecas, archivos domésticos, periódicos casi olvidados y otras fuentes poco conocidas. Aunque comienza por presentarnos al hombre prehistórico en búsqueda de la miel, y trata luego de las diversas fuentes del azúcar en la naturaleza, el tema central del Vol. I es la producción de azúcar a base de la caña. Es un estudio detallado y comprensivo, y el material está ordenado de manera que uno puede formarse enseguida una impresión clara y adecuada del desarrollo histórico de la

industria, bien sea en China, el Mediterráneo o las Antillas francesas.

El autor dedica catorce capítulos al establecimiento y desarrollo de la industria en diversas partes del globo; lectura ésta interesantísima. En el Vol. II el autor trata extensamente del problema de la esclavitud. Los datos presentados son suficientemente convincentes de que el progreso de la industria azucarera y la extensión de la esclavitud industrial estaban fundamentalmente correlacionados, no sólo durante los siglos últimos, lo que es de común conocimiento, sino a través de las edades. Otro capítulo titulado «La plantación y el plantador» describe vívidamente la existencia de los antiguos plantadores bajo un cielo tropical. Tres más tratan de la emancipación de los esclavos y de los acontecimientos subsiguientes, y uno del tráfico de «pájaros negros» que persistió en diversas regiones casi hasta nuestros días. Otros capítulos estudian el comercio del azúcar, impuestos, procesos de refinación, precios, etc., dedicándose espacio considerable a la industria de la remolacha azucarera y a otras fuentes menores del azúcar. El lector más especializado hallará un capítulo ilustrado, condensado pero valioso, sobre los efectos de la invención y las investigaciones en el desarrollo de la industria. C. W. WARDLAW

HONEYMAN, JOHN. *An Introduction to the Chemistry of Carbohydrates.* 143 págs., con diagramas a línea. Oxford University Press, Londres. 1948. 15s.

El Dr. Honeyman ha conseguido un libro sobre la química de los hidrocarburos de fácil lectura y en el que trata el tema de manera lógica; el estudio de los monosacáridos es apropiado, y hay una sección útil sobre los derivados de la celulosa en el Capítulo XI. Sospechamos, sin embargo, que el Capítulo IX ha de ser demasiado breve para que tenga verdadera utilidad, y creemos que los importantes trabajos de síntesis de Burkhardt Helferich debieran ser incluídos en el Capítulo X. La formulación de la inulina (pág. 133) no nos parece muy afortunada, ya que el enlace-β es el más probable para dicho polisacárido; y la afirmación de que el ácido algínico se extrae de las algas marinas por medio del hidróxido sódico debiera ser corregida.

También debemos apuntar que el sistema utilizado para las referencias bibliográficas no funciona bien algunas veces, como en el caso de la atribución a algunas publicaciones de fechas anteriores a las auténticas; de todos modos, es dudoso que los estudiantes universitarios tengan el tiempo necesario para buscar los abstractos que se indican en el prefacio. Aparte de estos pequeños defectos, podemos recomendar calurosamente la obra.

E. G. V. PERCIVAL

HUNTRESS, E. H. *The Preparation, Properties, Chemical Behaviour, and Identification of Organic Chlorine Compounds. Tables of Data on Selected Compounds of Order III.* XXV + 1443 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1948. 165s.

Este volumen trata en detalle de unos mil trescientos compuestos que contienen carbono y cloro; carbono, oxígeno y cloro; carbono, hidrógeno y cloro; y carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro. Se distingue notablemente del volumen publicado anteriormente en colaboración con el Profesor S. P. Mulliken en que, aunque se conserva el método general de clasificación de los compuestos, el tratamiento no se limita sólo a los problemas de identificación sino que incluye además un estudio de los métodos de preparación, propiedades físicas, y comportamiento químico general. Se citan más de veinte mil referencias bibliográficas, y como un buen número de los compuestos son relativamente nuevos, la obra ha de servir en esos casos como complemento a la de Beilstein. También se incluyen referencias a las patentes, y en éste y en otros aspectos el libro ha de ser de gran servicio para los ingenieros industriales. El primer capítulo está dedicado a una detallada explicación del método de clasificación usado, incluyéndose índices de fórmulas y de nombres, y no basado en tipos químicos. En una obra de este género mucho depende de la exactitud, alcance y sistema de su presentación; y parece evidente que el Profesor Huntress ha tenido constantemente en miente tales criterios, lo que le ha servido para producir con todo éxito una obra formidable y valiosísima.

H. J. EMELÉUS

JAFFE, BERNARD. *Crucibles: the Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission.* 2a edición inglesa. XIV + 480 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1949. 18s.

Los grandes avances de la química ocurridos desde la primera edición inglesa de esta obra en 1931 han causado la total revisión del último capítulo y la inclusión de otros tres sobre «Ernest Orlando Lawrence», «Los dominadores de la fisión nuclear» y «La energía nuclear del porvenir». El trabajo de equipo ha tenido un papel tan importante en las complejidades de la química sub-atómica que el autor de esta obra ha tenido que abandonar en sus últimos capítulos el procedimiento de dramatizar una figura determinada como símbolo de un período científico. La nueva parte del libro nos da un cuadro vívido de las maravillas del mundo sub-atómico y de la inmensa energía e inteligencia que está utilizando el hombre en su esfuerzo por crear algo que puede conducir a su propia destrucción si no somete su inteligencia a su sentido moral. Comenzando con la alquimia, la historia de la química se desarrolla ante nuestros ojos con intensidad e interés siempre crecientes, siendo lo mejor la última parte del libro en la que se nos ofrece un ameno relato del papel dominante que los químicos americanos, con sus enormes facilidades experimentales, han tenido en los últimos estadios de las investigaciones sub-atómicas. Aunque la segunda edición de esta obra, tan interesante y humana, contiene varias y deplorables inexactitudes, nos da sin embargo una visión entusiasta del progreso de la química muy de acuerdo con su título.

JOHN READ

SNYDER, H. R. (Redactor-jefe). *Organic Syntheses (Volume 28).* 121 págs., con varias ilustraciones a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 15s.

Este volumen de la colección *Organic Syntheses* contiene instrucciones detalladas para la preparación de un número de compuestos orgánicos, mucho más precisas que las que se dan generalmente en los trabajos originales, en los que aparecen a veces tan condensadas que el no especializado encuentra dificultades para repetirlas. La experiencia nos ha probado que las reacciones descritas en *Organic Syntheses* se efectúan tal y como se describen, dando los productos en la cantidad y pureza indicadas. Aparecen además muchas notas adicionales, referencias a trabajos originales, y mención de métodos alternativos de preparación.

El índice de materias cubre los volúmenes 20–28. W. BAKER

Libros recibidos

AGRICULTURA

PURI, A. W. *Soils — Their Physics and Chemistry* (Física y Química de los suelos). 550 págs., con varios diagramas a línea. Reinhold Publishing Company, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 56s.

ASTRONOMIA

ALFVÉN, H. *Cosmical Electro-Dynamics* (Electro-dinámica cósmica). 237 págs., con varios diagramas a línea. Oxford University Press, Londres. 1950. 25s.

BIOLOGIA

MINER, ROY WALDO (Redactor-Jefe), y GORDON, MYRON (Redactor consultivo). *The Biology of Melanomas*. 466 págs., con ilustraciones a medio tono y línea. New York Academy of Sciences. 1948. $5.

MURRAY, P. D. F. *Biology*. 600 págs., con numerosos dibujos a línea y medio tono. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 25s.

PINCHER, CHAPMAN. *Evolution*. 199 págs., con varios diagramas a línea. Herbert Jenkins Limited, Londres. 1950. 7s. 6d.

BOTANICA

CLEMENTS, FREDERIC E., MARTIN, EMMETT V., y LONG, FRANCES L. *Adaptation and Origin in the Plant World* (Adaptación y origen en el mundo vegetal). 332 págs., con numerosos diagramas a línea y medio tono. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., E.U.

CRAFTS, A. S., CURRIER, H. B., y STOCKING, C. R. *Water in the Physiology of Plants* (El agua en la fisiología vegetal). 240 págs., con diversos diagramas a línea. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., E.U.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1949. $6.

CARTOGRAFIA

TROREY, LYLE G. *Aerial Mapping and Photogrammetry* (Mapificación y fotogrametría aéreas). 178 págs., con numerosos diagramas a línea y medio tono. Cambridge University Press, Londres. 1950. 25s.

CIENCIA GENERAL

CRAMMER, J. L. (Compilador). *Science News No.* 15 (Noticias científicas, No. 15). 192 págs., con ilustraciones a medio tono y en color. Penguin Books Limited, Londres. 1950. 1s. 6d.

WIGHTMAN, W. P. D. *The Growth of Scientific Ideas* (El desarrollo de las ideas científicas). 495 págs., con diversas ilustraciones a línea y medio tono. Oliver and Boyd Limited, Edimburgo. 1950. 25s.

FISICA

BRIDGMAN, P. W. *The Physics of High Pressure* (Física de las altas presiones). 445 págs., con varios medio-tonos e ilustraciones. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 35s.

CURRAN, S. C., y CRAGGS, J. D. *Counting Tubes* (Tubos contadores). 238 págs., con varios diagramas a línea. Butterworth's Scientific Publications Limited, Londres. 1949. 35s.

CHANDRASEKHAR, S. *Radiative Transfer* (Transferencia radiativa). 393 págs., con varios diagramas a línea. Oxford University Press, Londres. 1950. 35s.

JAKOB, MAX. *Heat Transfer* (Transferencia de calor) Vol. 1. 758 págs., con varios diagramas a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 96s.

LANGMUIR, IRVING. *Phenomena, Atoms and Molecules*. 436 págs., con varios diagramas a línea. Philosophical Library, Nueva York. 1950. $10.

STANWORTH, J. E. *Physical Properties of Glass* (Propiedades físicas del vidrio). 224 págs., con diagramas a línea. Oxford University Press, Londres. 1950. 21s.

INDUSTRIA

EDWARDS, RONALD S. *Co-operative Industrial Research* (Investigación industrial cooperativa). 285 págs. Pitman and Sons Limited, Londres. 1950. 20s.

FLOSDORF, EARL W. *Freeze Drying — Drying by Sublimation* (Secado por congelación; secado por sublimación). 280 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio tono. Reinhold Publishing Company, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 40s.

INGENIERIA

FRY, D. W., y GOWARD, F. K. *Aerials for Centimetre Wave-Lengths* (Antenas para longitudes de onda centimétricas). 172 págs., con numerosos diagramas a línea. Cambridge University Press, Londres. 1950. 18s.

SHANNON, C. E., y WEAVER, W. *The Mathematical Theory of Communication*. 117 págs. University of Illinois Press, E.U. 1949. $2,50.

MEDICINA

HARTRIDGE, HAMILTON. *Recent Advances in the Physiology of Vision*. 401 págs., con numerosos diagramas a línea. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1950. 25s.

SPEARMAN, C., y WYNN JONES, LL. *Human Ability*. 198 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 16s.

WINSLOW, C.-E. A., y HERRINGTON, L. P. *Temperature and Human Life*. 272 págs., con varios diagramas a línea. Oxford University Press, Londres. 1949. 28s.

OCEANOGRAFIA

COLMAN, JOHN S. *The Sea and its Mysteries* (Los misterios del mar). 285 págs., con varios dibujos a línea e ilustraciones a medio tono. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 12s. 6d.

QUIMICA

ADAMS, ROGER (Redactor-Jefe). *Organic Reactions*, Vol. v. 446 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 48s.

BOOTH, HAROLD SIMMONS, y MARTIN, DONALD RAY. *Boron Trifluoride and its Derivatives* (El trifluoruro de boro y sus derivados). 315 págs., con varios diagramas a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 40s.

DURRANS, R. H. *Solvents*. 242 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 21s.

PERCIVAL, E. G. V. *Structural Carbohydrate Chemistry*. 246 págs., con diversos diagramas a línea. Frederick Muller Limited, Londres. 1950. 25s.

SIDGWICK, N. V. *The Chemical Elements and their Compounds*. 2 tomos. 1703 págs. Oxford University Press, Londres. 1950. 70s.

SMITH, S. J. *Advanced Chemical Calculations*. 454 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1949. 17s.

ZOOLOGIA

BULLOUGH, W. S. *Practical Invertebrate Anatomy*. 463 págs., con diagramas a línea. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 28s.